

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: техника ғылымдарының
кандидаты, қауымдастырылған
профессор Сабырбаева Г.С.
Шетелдік кеңесші:
ӘҰҒА корреспондент-мүшесі,
техника ғылымдарының докторы,
профессор Джалалов Г. И.

Қазақстан Республикасы
Ақтау, 2025

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР	3
АНЫҚТАМАЛАР	4
БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	5
КІРІСПЕ.....	7
1 ҚАБАТТЫҢ МҰНАЙ БЕРГІШТІГІН АРТТЫРУҒА БАҒЫТТАЛҒАН ӘСЕР ЕТУ ӘДІСТЕМЕЛЕРІНІҢ ЖҮЙЕЛІ ТАЛДАУЫ.....	12
1.1 Жоғары тұтқырлы мұнай кен орындарында қабаттың мұнай бергіштігін арттыруға арналған физика-химиялық әдістердің кешенді сараптамасы.....	12
1.2 Полимермен әсер ету үдерісінің теориялық негіздері.....	14
1.3 Кен орындарда полимерлік су айдау әдісін қолдану тәжірибесі.....	21
1.4 Полимерлік су айдауды қолдану критерийлері мен тұжырымдамалары.....	22
1.5 Су-газ әсер ету технологиясын қолдану мәселелеріне шолу.....	31
1– бөлім бойынша қорытынды.....	36
2 МҰНАЙДЫҢ ӘРТҮРЛІ МАРКАЛЫ ПОЛИМЕРЛЕРМЕН ӨЗАРА ӘСЕРЛЕСУ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ	37
2.1 Каламқас кен орнындағы қабаттарға әсер ету үшін полимерлі композицияларды қолдануды негіздеу.....	37
2.2 GL-50 ЖӘНЕ R-1 полимерлерінің реологиялық қасиеттерін зерттеу.....	38
2.3 Полимер ерітінділерінің сүзілу қасиеттерін зерттеу.....	43
2.4 Полимерлермен мұнайды ығыстыру экспериментін жүргізу әдістемесі.....	45
2.5 Полимерлерді айдау эксперименттері нәтижелері.....	49
2-бөлім бойынша қорытынды.....	56
3 ЖОҒАРЫ ТҰТҚЫРЛЫ МҰНАЙДЫ БІРТЕКТІ ЕМЕС ҚАБАТТАРҒА ПОЛИМЕРЛІК ӘСЕР ЕТУ ЗЕРТТЕУЛЕРІНІҢ НӘТИЖЕЛЕРІН ТАЛДАУ.....	57
3.1 Әртүрлі модификацияланған полиакриламидтермен жоғары тұтқырлы мұнайды ығыстыру бойынша эксперименттік зерттеулер.....	57
3.2 Эксперименттік зерттеулерде ең кіші квадраттар әдісін қолдану.....	72
3.3 Біртекті емес қабаттарға аралас полимерлі және су-газ әсер етудің үйлесімді әдісін зерттеу.....	78
3.4 Техника-экономикалық көрсеткіштерді бағалау.....	91
3-бөлім бойынша қорытынды.....	94
ҚОРЫТЫНДЫ.....	95
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	96
ҚОСЫМШАЛАР.....	104

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі стандарттар мен ереже сілтемелері қолданылды:

«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 қамтамамасыз етудің 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

АТБҚ	акриламид терт-бутилсульфон қышқылы
ПАА	полиакриламид
МБАӘ	мұнайбергіштікті арттыру әдісі
СМК	су-мұнай контактісі
СГӘ	су-газ әсері
МБК	мұнайбергіштік коэффициенті
МҚМ	мұнай қабатының моделі
ҚМБА	қабаттардың мұнай бергіштігін арттыру
ГСЦА	газ бен суды циклдік айдау
ГСГӘ	гибридті су-газ әсері
СГБМА	су мен газды бір мезгілде айдау
СБУСГА	селективті бір уақытта су мен газды айдау
СӘМГКА	суды және әртүрлі мөлшердегі газды кезек-кезек айдау
ТӨС	тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар
ӨБПЖ	өзара байланысқан полимерлік жүйелер
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_o	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
$P_{\text{п}}$	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 су айдау технологияларының тиімділігі шектеулі болып келеді.

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

Жыл сайын мұнай мен мұнай өнімдерін пайдалану көлемі артып келеді, әсіресе экономикасы дамып, өркендеп келе жатқан елдерде бұл айқын байқалады. Біздің көптеген кен орындарымыз қабатқа сұйықтық айдау әдісімен игерілуде. Сондықтан тұрақты энергиямен қамтамасыз ету мақсатында 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 өнімі мен түпкілікті мұнай өндіру көрсеткіштерін анықтайды. Жоғары тұтқырлықты мұнай қабаттарында табиғи игеру режимінде мұнайдың бастапқы геологиялық қорларының тек 10%-ы ғана өндіріледі, бұл мұнайбергіштік коэффициентінің төмен екенін көрсетеді. Мұндай кен орындарында су айдауды қолдану үлкен тиімділік көрсетпейді. Сондықтан, су айдау арқылы қабаттың мұнайбергіштік коэффициентін арттыру және қалдық мұнаймен қанығу коэффициентін азайту арқылы тұтқырлығы жоғары мұнайды алу тиімділігін арттыру технологияларын жетілдіру қажеттілігі туындайды. Капиллярлық және адсорбциялық күштер арқылы қабатта болатын қалдық мұнайдың қанығуын төмендету үшін үшіншілік әдістерді қолдану ұсынылады. Үшіншілік 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 келешек үшін маңызды 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 өндіру көлемінің төмендеу қарқынын бәсеңдету және қорларды ұлғайту тұрғысынан ең нәтижелі

технология – полимерлерді қолдануға негізделген әдістер болып табылады. 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, мұнай өндірудің тиімділігін 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. Жоғары тұтқырлы мұнай кен орындарын игеру тиімділігін арттыру мақсатында полимерлі композициялармен, сондай-ақ полиакриламидпен біріктірілген электрохимиялық модификацияланған су мен су-газ қоспасын пайдалану негізінде жүргізілетін кешенді технологиялық әсердің тиімділігін ғылыми негіздеу және тәжірибелік тұрғыдан зерттеу.

Мәселенің даму дәрежесі. Күрделі геологиялық және геолого-физикалық жағдайларда игерілетін мұнай қабаттарының мұнайбергіштік коэффициентін арттыру мәселесіне отандық және шетелдік зерттеушілер тарапынан ерекше назар аударылған. Бұл бағыттағы зерттеулердің басты мақсаты – жоғары тұтқырлы қабаттан мұнай алуды жетілдіру, сондай-ақ қабаттың физика-химиялық қасиеттерін өзгерту арқылы мұнайбергіштік деңгейін арттыру болып табылады.

Аталған ғылыми мәселелерді зерттеу ісімен айналысқан және қазіргі таңда да белсенді зерттеулер жүргізіп келе жатқан ғалымдар қатарында Айтқұлов А.О., 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., 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. сияқты зерттеушілер бар.

Зерттеу нысаны. Қаламқас кен орнындағы Ю-3С және Ю-4С жоғары тұтқырлы мұнай қабаттары.

Зерттеудің негізгі міндеттері:

- R-1 және GL-50 маркалы полимерлерді пайдалану арқылы керн үлгілерінен мұнайды ығыстыру процестерін зерттеу;

- Біртекті емес қатпарлы қабат құрылымында жоғары тұтқырлы мұнайды полиакриламид пен электрохимиялық модификацияланған судың кешенді әсері арқылы ығыстыру тиімділігін зерттеу;

- Полиакриламид ерітіндісі мен су-газ қоспасының үйлесімді комбинациясын пайдалану арқылы біртекті емес қабаттан жоғары тұтқырлы мұнайды ығыстыру тиімділігін зерттеу;

- Болжау негізінде жасалған кешенді әсер ету технологиясын қолдану арқылы мұнай кен орындарын игеру көрсеткіштерінің техникалық-экономикалық талдауын жүргізу.

Міндеттерді шешу әдістері. Қойылған міндеттерді шешу барысында теориялық және эксперименттік әдістерді, сондай-ақ сандық зерттеулер мен математикалық модельдеуді үйлестіретін кешенді тәсіл қолданылды. Математикалық модельдеу зерттеу барысында алынған деректерді цифрлық өңдеуге мүмкіндік берді. Эксперименттік зерттеулер жуық моделдеу негізінде жүргізілді, бұл жағдайда физика-химиялық процестердің математикалық модельдері құрылып, олардың нақты жағдайларға әсері бағаланды. Сонымен қатар, T-Navigator бағдарламасы мен жасалынған модельдер арқылы алынған деректер жүйелі түрде талданып, эксперименттік нәтижелерімен салыстырылды. Мұндай өндіру тәсілдерін зерттеу процесінде түрлі факторлардың әсерін модельдеу арқылы ең тиімді шешімдерді табуға мүмкіндік берді. Зертханалық және эксперименттік зерттеулерді орындау барысында келесі аспаптар мен қондырғылар пайдаланылды: LXRT-400T қондырғысы, MCR 702 TwinDrive автоматты реометрі, Брукфильд вискозиметрі, Дин-Старк аппараты және UltraPorePerm 500 порозиметрі.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы.

1. Жоғары тұтқырлы мұнай кен орындарына әсер ету тиімділігін арттыру мақсатында R-1 және GL-50 маркалы полимерлерді 1,5 г/л концентрацияда қолдануға негізделді, бұл қиын өндірілетін қорларды игеруде қолданбалы маңызға ие және технологиялық тиімділікті арттыруға ықпал етеді.

2. Электрохимиялық модификацияланған су негізінде 0,25% концентрациялы полимерлік композицияларды пайдалана отырып, біртекті емес қабаттарға әсер етудің кешенді әдісі әзірленді. Бұл әдіс жоғары өткізгіштікке ие қабаттардан мұнайбергіштік коэффициентін орташа есеппен 20%-ға, ал төмен өткізгіштікке ие қабаттардан 26%-ға арттыруға мүмкіндік береді. Аталған әдіс төмен өткізгішті қабаттарға әсер ету тиімділігін арттыратын жаңа технологиялық шешім болып табылады.

3. Қабатқа әсер ету үшін 0,25% және 0,5% полимерлік композициялар қосылған су-газ қоспасын қолдануға негізделген кешенді технология ұсынылды. Бұл технология мұнайбергіштік коэффициентін сәйкесінше 32,4% және 32,9%-ға арттыруға мүмкіндік береді. Аталған тәсіл қиын өндірілетін қорларды тиімді игеруге, өндіріс шығындарын азайтуға және жоғары тұтқырлы мұнай өндіру көлемін ұлғайтуға септігін тигізеді.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы. Осы жұмыстың ғылыми жаңалығы полимерлі құрамдар негізіндегі кешенді технологияларды әртүрлі геологиялық-физикалық жағдайларда қолдану арқылы мұнай кен орындарын игеру механизмдері туралы түсініктерді толықтыруға және жетілдіруге мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері «Үшқұю» АҚ компаниясының технологиялық кеңестерінде талқыланып, оларды Қазақстанның мұнай кен орындарында қолдануға оң қорытынды мен ұсынымдар берілді. Мұндай тәсіл полимерлік технологияларды пайдалану арқылы мұнай өндіру көлемін арттыруға және кен орындарын игерудің техникалық-экономикалық көрсеткіштерін жақсартуға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер мұнай

өнеркәсібіндегі өндіріс тиімділігін арттыруға және ұлттық экономиканың дамуына үлес қосады.

Қорғауға шығарылатын қағидалар.

1. GL-50 және R-1 маркалы полимерлерді 1,5 г/л концентрацияда қолданудың Каламқас кен орнының мұнай қорларына әсер ету тиімділігін арттырудағы рөлі ғылыми негізделді. Эксперименттік мәліметтер бұл полимерлердің мұнайды ығыстырудағы тиімділігін нақты растады.

2. Біртекті емес қатпарлы қабаттың құрылымына әсер етудің кешенді технологиясының 0,25% концентрациялы полимер ерітіндісі мен электрохимиялық модификацияланған суды қолданудың тиімділігі ғылыми тұрғыдан негізделді. Тәжірибелік зерттеулер нәтижелері бойынша мұнайбергіштік коэффициенті орташа есеппен 8%-ға артқаны анықталды.

3. Жоғары тұтқырлы мұнай кен орындарына полиакриламид (ПАА) 0,5 % концентрациядағы ерітіндісі мен су-газ эмульсиясын қамтитын кешенді әсер ету әдісінің тиімділігі дәлелденді. Бұл технологияны енгізу мұнайбергіштік коэффициентін 17-32,9% аралығында арттыруға мүмкіндік берді.

4. Кешенді әсер ету технологиясын қолдануға негізделген технико-экономикалық талдау жүргізілді, ол алдын ала болжамға негізделген отырып есептелді. Бұл талдау ұсынылған әдістің экономикалық тиімділігін растап, мұнай өндіру шығындарын азайтып, жалпы алынатын мұнай көлемін ұлғайту мүмкіндігін көрсетті.

Сенімділік дәрежесі. Диссертациялық жұмыстың ғылыми қағидаларының, тұжырымдары мен ұсынымдарының дұрыстығы мен негізділігі заманауи зерттеу әдістерін қолдану, алынған нәтижелерді өңдеу және эксперименттік сынақтар арқылы дәлелденді. Сонымен қатар, эксперименттік және есептеу сынақтарының дәлдігі математикалық регрессия тендеулерін пайдалану негізінде ұқсастық критерияларының сипаттамаларына сүйенеді. Бұл зерттеу нәтижелерінің шынайлығын қамтамасыз етіп, оларды тәжірибе жүзінде қолдану мүмкіндігін арттырады.

Жұмыс нәтижелерін апробациялау: Диссертациялық жұмыстың нәтижелері және оның негізгі ережелері халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференцияларда баяндалып, талқыланды: "Кен орындарының өндірілуі қиын көмірсутектерді игерудің геологиялық және технологиялық аспектілері" (Ақтау, 18.04.2019 ж.), "Каспий маңы мемлекеттерінің халықаралық ынтымақтастығының қаржы-экономикалық және құқықтық аспектілері" (Ақтау, 29.11.2018 ж.), "Кен орындарын өндірілуі қиын көмірсутектер игерудің геологиялық және технологиялық аспектілері" (Ақтау, 18.04.2019 ж.), "Ғылым мен білім берудегі заманауи технологиялар" (Ақтау, 28.04.2021 ж.).

Жұмыстың өзге ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы.

Диссертациялық жұмыс ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті қаржыландырған «Тұтқырлығы жоғары мұнай өндіруді қарқындатудың кешенді әдісін жетілдіру» тақырыбы бойынша «Жас ғалым» жобасының аясында орындалды (АР22685524).

Жарияланымдар және жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 14 ғылыми мақалада жарияланды, оның ішінде Қазақстан Республикасы ҒЖБМ ҒЖБССҚК ұсынған жетекші рецензияланатын ғылыми журналдарда - 7 басылым, сонымен қатар Scopus базасы құрамына кіретін журналында - 2 мақала, ал қалған мақалалар Халықаралық ғылыми-конференци материалдарында жарияланды.

Жұмыстың көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш тараудан, негізгі ұсыныстардан, қорытындыдан және 4 қосымшамен 104 атаулы пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыста 107 бет, 25 кесте және 28 сурет бар.

1 ҚАБАТТЫҢ МҰНАЙ БЕРГІШТІГІН АРТТЫРУҒА БАҒЫТТАЛҒАН ӘСЕР ЕТУ ӘДІСТЕМЕЛЕРІНІҢ ЖҮЙЕЛІ ТАЛДАУЫ

1.1 Жоғары тұтқырлы мұнай кен орындарында қабаттың мұнай бергіштігін арттыруға арналған физика-химиялық әдістердің кешенді сараптамасы

Мұнай кен орындарындағы жоғары тұтқырлы мұнай көлемінің артуына байланысты оларды игеру барысында мұнай алу тиімділігі төмендеуде. Кен орынды игерудің табиғи энергия көздерін немесе су айдау әдісін қолдану арқылы жүргізілетін дәстүрлі тәсілдері қабаттағы мұнайдың үлкен көлемін өндіруге мүмкіндік бермейді, соның нәтижесінде айтарлықтай мөлшерде мұнай жер қойнауында қалып қояды. Осыған байланысты мұнай қорларын неғұрлым толық игеру, қалдық мұнаймен қанығу деңгейін төмендету және мұнайбергіштік коэффициентін арттыру мақсатында қабатқа әсер етудің кешенді физика-химиялық әдістері әзірленуде және жетілдірілуде. Мұнайбергіштікті арттыру әдістеріне (МБАӘ) отандық және шетелдік зерттеушілер тарапынан үлкен көңіл бөлініп, өндірістік тәжірибеде белсенді қолданыс табуда.

Қазіргі уақытта мұнай кен орындарының көпшілігі қалдық мұнаймен қанығудың үлкен мәндерімен және жоғары суланумен сипатталатын соңғы игеру сатысында екенін ескеру қажет. Жаңадан ашылған мұнай кен орындары жоғары тұтқырлы мұнаймен, үлкен тереңдікпен, қабаттарының төмен өткізгіштігімен сипатталады. Бұл үлкен күрделі шығындарды инвестициялауды және жаңа технологияларды қолдануды талап етеді. Сарқылған мұнай кен орындарын толық игеру - тұрақты энергиямен қамтамасыз етудің өзекті міндеттерінің бірі болып табылады. Алайда, бұл үдеріс бірқатар техникалық, экономикалық және экологиялық мәселелермен тығыз байланысты екенін атап өткен жөн.

Мұнай өндіру көлемінің төмендігі мен игеру шығындарының жоғары болуы сарқылған кен орындарын игеруді жалғастыруды экономикалық тұрғыдан тиімсіз етуі мүмкін. Осыған байланысты мұнай өндіру көлемін арттыру мақсатында химиялық реагенттерді айдау сияқты жетілдірілген әдістер немесе жаңартылған технологияларды қолдану қарастырылады. Қазақстанда сарқылған мұнай кен орындарының саны едәуір көп екенін атап өтуге болады. Мұндай кен орындарын толық игеру қосымша мұнай мен газ өндірудің маңызды көзі ретінде бағаланады. Дегенмен, бұл үдеріс жоғары инвестициялық шығындарды, төмен рентабельдікті және экологиялық тәуекелдерді қамтитын бірқатар күрделі мәселелермен ұштасады. Осы себепті, сарқылған кен орындарын тиімді игеруді ынталандыру мақсатында бірқатар шаралар ұсынылып, бұл бағыттағы жұмыстар алдағы уақытта да жалғасады [1-5].

Қазақстан кен орындарында жоғары тұтқырлы және шайырлы мұнайдың кеңінен таралуы мұнай өндіру тиімділігін арттыруға қосымша тәсілдерді қажет етеді. Осы мақсатта геологиялық жағдайлар мен мұнайдың физика-химиялық сипаттамаларын ескере отырып, мұнай өндіру тиімділігін арттыру үшін су

айдау әдісінің қайталама және үшіншілік әдістерін кешенді түрде қолдану маңызды. Бұл әдістердің үйлесімді қолданылуы су айдау кезінде қабаттың қамтылу коэффициентін арттыруға, қалдық мұнайға қанығу деңгейін төмендетуге және жалпы мұнайбергіштікті ұлғайтуға мүмкіндік береді.

Мұнайды тұтқыр сұйықтықтармен ығыстыру кезінде қалдық мұнай қанығуын тиімді төмендетуге бағытталған инновациялық технологиялар кеңінен енгізілуде. Аталған технологиялар игерудің соңғы кезеңіндегі кен орындарында мұнай өндіру қарқындылығын ұзақ мерзім бойы тұрақты деңгейде сақтауға жағдай жасайды.

Зерттеу нәтижелеріне сүйенсек, мұнай өндіруді арттыруда қолданылатын әдістер алуан түрлі болуына қарамастан, келесідей бірыңғай жіктемеге бөлінеді: жылулық, физика-химиялық, газ, гидродинамикалық, микробиологиялық әдістер [6, 7]. Қазіргі уақытта сарқылған мұнай қабаттарын қайта өндеуге бағытталаған түрлі технологиялар қолданылуда. Мұндай қабаттарда қалдық мұнай қанығуы капиллярлық қысымның әсерімен ұсталып тұрады, адсорбцияланған күйде немесе пленка түрінде сақталады. Алайда, бұл қабаттарға әсер етудің тұрақты және әмбебап әдісі қалыптаспаған. Сондықтан, әсіресе біртекті емес қабатты кен орындарда, мұнай қабатына әсер етудің ең тиімді технологиялық сызбасын таңдау – қалдық мұнай қанығу деңгейін төмендетудің маңызды шарты болып табылады.

Соңғы жылдары физика-химиялық әсер ету әдістері тәжірибеде кеңінен қолданылады. Мұндай әдістердің құрамына беттік белсенді заттарды, полимерлерді, қышқылдарды, мицеллярлар және сілтілі ерітінділерді айдау жатады. Аталған химиялық реагенттердің әрқайсысы кеуекті орта мен мұнайға өзіндік әсерін тигізеді. Мысалы, беттік-белсенді заттар мұнай мен су арасындағы фаза аралық беттік керілуді төмендету арқылы капилляр арнадағы мұнайдың қозғалғыштығын артырса, сілтілі реагенттер көбіне синергетикалық әсерді күшейту мақсатында қолданылады. Ал микрогельдер мен наногельдер – құрамында полимердің ұсақ бөлшектері бар химиялық реагенттер болып табылады. Олардың негізгі мақсаты – судың сіңірілетін аймақтардағы өткізгіштігін төмендету және орын ауыстырумен қамтылмаған аймақтарға суды бағыттау.

Дүниежүзілік және отандық тәжірибеде полимер ерітінділерін қолдану әдісі кеңінен таралған. Бұл бағытта шетелдік және отандық ғалымдар бірқатар маңызды зерттеулер жүргізген. Солардың қатарында 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., 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. сынды зерттеушілердің еңбектері ерекше атап өтуге тұрарлық. Аталған ғалымдардың жұмыстары осы тақырыпқа әртүрлі ғылыми көзқарастар мен тұжырымдармалар ұсынып, оның теориялық негізін жетілдіруге зор үлес қосты.

1.2 Полимермен әсер ету үдерісінің теориялық негіздері

Полимерлі су айдау – мұнай өндіру тиімділігін арттыруда химиялық әдістердің ішіндегі ең табысты әрі тиімді тәсілдердің бірі. Көп жағдайда бұл әдіс құмды коллекторларда қолданылады. [8-11]. Полимерлі су айдау механизмі–судың тұтқырлығын арттырып, оның қозғалғыштығын төмендету арқылы мұнайды тиімдірек ығыстыруға негізделген. Бұл процесте суға қосылған полимерлер судың қозғалысына кедергі келтіретін макромолекулярлы құрылымдарды түзеді, олар судың молекулаларының еркін қозғалуына кедергі келтіріп, сұйықтықтың тұтқырлығын арттырады. Нәтижесінде сұйықтықтың тұтқырлығы күшейіп, су қозғалысының жылдамдығы төмендейді, бұл кен орындарынан мұнай алу процесін тиімдірек етеді. Осылайша, су құрамына полимер ерітіндісін енгізу арқылы судың тұтқырлығы арттырылып, мұнай шығару процесі жақсарады.

Полимер ерітіндісі қабат бойымен қозғалған сайын, ерітіндідегі полимер концентрациясының өзгеруі байқалады, соған сәйкес оның тұтқырлығы да өзгереді. Бұл құбылыс бірнеше факторға байланысты туындайды. Біріншіден, полимер молекулаларының кеуекті ортаның бөлшектері бетінде адсорбциялануы; екіншіден, олардың шағын диаметрлі тесіктерден өткенде механикалық түрде ұсталып қалуы; үшіншіден, гидродинамикалық ұстау - яғни полимер молекулаларының жылдамдық градиентінің әсерінен қозғалыс бағытының баяулауы. Аталған факторлардың жиынтық әсерінен қабат ішінде қалдық қарсылық факторы қалыптасады, бұл полимер айдау тиімділігіне тікелей ықпал етеді. Қалдық кедергі факторы келесі формула бойынша анықталады [10, 36 б.]:

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

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

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.

Дистилденген суда қалдық кедергі факторының түзілуі негізінен су молекулаларының үйкелісі мен олардың кеуекті арналар арқылы қозғалысы кезінде туындайды. Бұл процесс полимер молекулаларының икемді байланыс сегменттері арқылы жүзеге асады. Ал қабат суындағы кальций мен натрий тұздарының болуы полимер қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді: олар полимердің адсорбциясын күшейтіп қана қоймай, молекулалардың өзара байланысуына және үлкен полимер агрегаттарының түзілуіне ықпал етеді [10, 37 б.; 11, 43 б.].

Полимер молекулалары деформацияланып, су ағынына кедергі келтіретін серпінді торлар түзе алады. Бұл үдерістер полимерлі су айдау тиімділігін төмендететін қалдық кедергі факторының пайда болуына ықпал етеді. Полимер ерітіндісі ньютондық емес сұйықтықтың қасиеттеріне ие. Полимердің

сулы ерітіндісі үшін кеуекті ортаның өткізгіштігі, оның тұтқырлығы жоғары болғанына қарамастан, сумен салыстырғанда едеуір төмендейді. Бұл R кедергі факторымен сипатталады, ол судың қозғалғыштық коэффициентінің полимер ерітіндісінің қозғалғыштық коэффициентіне қатынасы ретінде анықталады [10, 39 б.]:

$$R = \frac{K_{cy}}{\mu_{cy}} : \frac{K_p}{\mu_p} \quad (1.3)$$

мұндағы, K және μ сәйкесінше өткізгіштік, тұтқырлық; "су" және "п" индекстері – су және полимер ерітіндісі. Полимердің молекулалық салмағы артқан сайын және кеуекті ортаның өткізгіштігі төмендеген жағдайда, кедергі факторының жоғарылайтыны анықталған. Полимер ерітінділерінің қозғалғыштығы ағым жылдамдығына тәуелді, бұл әсіресе ұңғыма маңындағы аймақтарда айқын байқалады.

Біртекті емес қабатты кеуекті ортадағы полимерлі ерітінді жоғары өткізгіш қабаттарға оңайырақ енеді. Мұндай жағдайда полимер ерітіндісінің тұтқырлығының жоғарылауы, адсорбция процесі және қоршаған орта өткізгіштігінің төмендеуі нәтижесінде сұйықтық ағындарының динамикалық біртексіздігі айтарлықтай төмендейді. Соның нәтижесінде, қабаттың суланумен қамтылу дәрежесі артады – бұл әрі қабаттың қуаты, әрі ауданы бойынша жүзеге асады [8, 59 б.; 9, 74 б.; 10, 40 б.].

Тұтқырлық пен адсорбция – полимерлі ерітінділердің негізгі қасиеттерінің бірі болып табылады. Ерітінді концентрациясы артқан сайын тұтқырлық жоғарылайды, ал қозғалғыштығы төмендейді. Полимерлі ерітінділер судың фазалық өткізгіштігін төмендетіп, оны мұнай үшін сақтап қалу қасиетіне ие. Полимердің сулы ерітінділері жоғары өткізгіштігі бар қабатшаларға еніп, сол жерде фильтрациялық (сүзу) кедергіні туындатады. Полимердің бұл қасиеті мұнай кен орындарын игерудің кез келген сатысында ұңғымалардың қабылдау қабілетін және мұнай беру профильдерін теңестіру үшін қолданылады. Тау жыныстарының өткізгіштігі төмендеуі негізінен полимердің адсорбциясы мен механикалық ұсталуы арқылы жүзеге асады [8, 60 б.; 9, 33 б.; 12, 29 б.]. Полимер тау жынысына иондық күштер немесе сутектік байланыстары арқылы жабысады. Полимер молекулаларының тау жынысы бетіне бекінуі көбінесе қайтымсыз адсорбция ретінде қарастырылады. Сонымен қатар, өте ірі полимер молекулалары тар кеуекті арналардың кіреберісінде физикалық түрде бөгеліп қалуы мүмкін. Полимер ерітіндісі тау жыныстарымен және қабат суымен әрекеттескен кезде, ерітіндідегі полимер концентрациясы өзгереді. Соның нәтижесінде полимер фронты алдында қабат суы жиналып, оның артында полимердің белгілі бір мөлшерін жоғалтқан су қабаты түзіледі. Судың минералдану деңгейінің жоғарылауы мен қабат өткізгіштігінің төмендеуі жағдайында адсорбция деңгейі артады. Полимер ерітіндісінің тұтқырлығына саздың жоғары мөлшері, кальций, магний және алюминий катиондары айтарлықтай әсер етеді. Бұл полимер ерітіндісі тұтқырлығының төмендеуіне,

сүзу кедергісінің азаюына және адсорбция деңгейінің өсуіне алып келеді [12-14].

Әртүрлі факторлардың әсерінен сулы ерітіндідегі полимер молекулалары деструкцияға ұшырап, бұзылады. Деструкция полимердің молекулалық массасын азайтып, оның қоюлану қабілетін төмендетеді. Полимер деструкциясы келесі түрлерге бөлінеді: химиялық, термиялық, механикалық және микробиологиялық. Химиялық деструкция бос радикалдардың түзілу нәтижесінде жүреді, олар полимер молекуласымен әрекеттесіп, молекулалық массаның төмендеуіне әкеледі. Мұндай процес тотығу-тотықсыздану реакция кезінде байқалады, оған оттегі, сутегі немесе темір сульфиді сияқты қоспалар қатысады. Бұл қоспалар көбіне қабат суларында кездесетіндіктен, полимерлі су айдау кезінде судың сапасына ерекше мән беру қажет. Температураның жоғарылауымен термиялық деструкция жүреді. Полимердің әртүрлі маркалары үшін температураның төзімділік шегі әртүрлі болады. Механикалық деструкция полимер молекулаларының немесе олардың агрегаттарының жоғары қозғалыс жылдамдығында, сондай-ақ, құбырлардағы әртүрлі қысым айырмашылығының кенет өзгерісі кезінде үзілуіне байланысты туындайды. Полимердің молекулалық массасы мен тізбектерінің ұзындығы неғұрлым үлкен болса, оның механикалық деструкцияға сезімталдығы соғұрлым жоғары болады. Микробиологиялық деструкция мұнай қабатына су айдау кезінде пайда болатын аэробты бактериялардың әсерінен жүзеге асады. Бұл бактериялар мұнай құрамындағы компоненттерді тотықтыра отырып, полимер молекулаларын ыдыратуы мүмкін [15,16].

Барлық өндірістік полимерлер іс жүзінде полиакриламидтер мен полисахаридтер (биополимерлер) болып, екі класқа бөлінеді. Полимерді таңдау кезінде оның тұтқырлығы маңызды рөл атқарады. Полимердің тұтқырлығына әсер ететін бірнеше факторлар бар, және олардың процеске әсер ету мүмкіндігін ескеру қажет. Тұтқырлығы жоғары полимерлер қабаттың көлемдік қамтылу коэффициентін арттыруға мүмкіндік береді. Мұндай полимерлер, әсіресе өткізгіштігі жоғары қабаттарда, "гель" тәрізді қасиет көрсетіп, сұйықтық ағынын шектеуге қабілетті. Полимердің тұтқырлығы жоғары болған жағдайда, оның қабат суымен немесе су сыйымдылығы жоғары горизонттармен араласу дәрежесі төмендейді. Тұтқырлық пен концентрацияның жоғарылауымен полимер үлкен көлемді ығыстыра алады, бұл оның үлкен артықшылығы болып табылады. Қолданылатын полимерлер жоғары тұтқырлықпен қатар, тиксотроптылы және псевдопластикалы қасиеттерге ие. Осы қасиеттерге сүйене отырып, әртүрлі маркадағы полимерлер таңдалады.

Жоғарыда айтылғандай, полимерлер екі негізгі түрге бөлінеді: синтетикалық және биополимерлер. Синтетикалық полимерлердің ең көп таралған және арзаны болып табылатын түрі-полиакриламид (ПАА) $[\text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CO} - \text{NH}_2]_n$ болып табылады. Бұл – акрил қышқылының туындысы болып табылатын, жоғары молекулалы синтетикалық қосылыс. ПАА – молекулалық массасы бірнеше миллионға дейін жететін, сызықтық құрылымды полимер. Полиакриламид өндірісте көбінесе түйіршіктер немесе гель түрінде

қолданылады. Полиакриламидті синтездеу үшін шикізат ретінде шикі мұнайдан алынатын пропилен пайдаланылады. Полимерлеу процесіндегі негізгі мономер—акриламид, ол акрилонитрилден алынады. Сонымен қатар, пропиленнің тотығу реакциясы арқылы алынатын акрил қышқылы полиакриламидтік жүйелерде сополимерлеу мономері ретінде қолданылады.

Синтездеу кезінде полимердің құрамына белгілі бір функционалды қасиеттер беру мақсатында қосымша басқа мономерлер енгізілуі мүмкін. Мұнай өндіруді арттырудың химиялық әдістерін қолдану барысында жобалардың басым көпшілігі аниондық полимерге негізделіп, көбіне құмтас қабатында жүзеге асырылады. Бұл тәсіл адсорбция деңгейін төмендету тұрғысынан тиімді болып саналады. Акриламидтің өзі иондық емес мономер болғандықтан, полимерге аниондық сипат беру үшін оның құрамына теріс зарядты функционалды топтар енгізіледі. Мұндай теріс заряд, әдетте, амид топтарын каустикалық содамен гидролиздеу арқылы пайда болатын карбон қышқылының топтары есебінен қамтамасыз етіледі. Полимердің модификациясының екі негізгі тәсілі бар. Бірінші процесі сополимеризация, ал екіншісі постгидролиз деп аталады.

Полимердің ең қолайлы түрі мен оның химиялық құрамын таңдау бірнеше факторларға байланысты. Олардың қатарына полимердің пішіні, полимердің химиялық құрамы, сондай-ақ полимердің молекулалық массасы жатады – бұл көрсеткіштердің әрқайсысы полимердің ішіндегі тиімділігін анықтайды. Тәжірибелік зерттеу барысында соңғы өнімнің орташа молекулалық массасын оңтайландыру қажет. Бұл қабат ішінде полимер молекулаларының біркелкі және үздіксіз қозғалысын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Қабат температурасының көрсеткіштері айдалатын судың минералдануы деңгейін де полимердің химиялық құрамын таңдауда маңызды рөл атқарады. Осы параметрлерді ескере отырып, полимер тұрақтылығы мен тиімділігін арттыруға болады. Сол сияқты қабат өткізгіштігі туралы деректер де молекулалық массаны түзетуге негіз бола алады. Бұл полимер молекулаларының қабат ішінде біркелкі және біртіндеп таралуын қамтамасыз етуге бағытталған.

Акриламид – акрилонитрилден алынатын, суда жақсы еритін, ақ түсті кристалл тәрізді қосылыс. Оның молекулалық құрылымында электрон тапшылығы бар қос байланыс пен амид тобы орналасқан. Сондықтан осы екі функционалды топтың болуы акриламидтің әртүрлі химиялық реакцияларға – әсіресе қосылу және гидролиз реакцияларына – түсуіне мүмкіндік береді. Акриламид риттер реакциясы арқылы алынады: бұл реакцияда акрилонитрил мен изобутиленнің әрекеттесіп, терт-бутилсульфон қышқылы, күкірт қышқылы және су катализатор ретінде қолданылады. Нәтижесінде амид тобы бар мономер түзіледі. Қазіргі уақытта акриламидтің термиялық тұрақтылығын арттыру, әсіресе амид топтарының жоғары температурасындағы беріктігін қамтамасыз ету бағытында ғылыми зерттеулер жүргізілуде.

Полимер құрамында диметил және сульфометил топтары амидтік топтарының кеңістіктік қозғалғыштығын шектеу арқылы олардың жұмыс

белсенділігін азайтады. Бұл құрлымында АТБҚ негізінде полимерлердің термиялық және гидролитикалық тұрақтылығын арттыруға көмектеседі. Алайда, амид топтарының артық гидролизі кезінде карбоксилат топтары түзіліп, полиакриламидтердің тұрақсыздығына негізгі себеп болады. Бұл құбылыс полимердің тұнбаға түсуіне, ал оның салдарынан ерітіндінің тұтқырлықтың төмендеуіне алып келуі мүмкін.

Полиакриламид бірқатар қасиеттерге ие. Олардың қатарында жоғары тұтқырлық, флокуляция қабілеті және гель түзушілік қасиетімен ерекшеленеді. Алайда, ПАА-ның кейбір кемшіліктері де бар, олардың ішінде гидролизге бейімділігі ерекше атап өтіледі. Гидролиз нәтижесінде ПАА құрылымында карбоксилат топтарының пайда болуына әкеледі. Карбоксилат топтары гидрофильді сипатқа ие болғандықтан, молекула құрылымына суды тартады, нәтижесінде ПАА ісініп, толықтай еруі мүмкін. Мұндай өзгерістер ПАА-ның технологиялық тиімділігін төмендетеді. Амид топтарының артық гидролизі әртүрлі факторлардың әсерінен болуы мүмкін. Оларға жоғары температура, ортаның қышқылдық дәрежесі және микроорганизмдердің белсенділігі жатады. ПАА гидролизінің алдын алу мақсатында бірнеше әдістер қолданылады. Соның ішінде гидролиз ингибиторларын енгізу және химиялық тұрақты байланыстары бар модификацияланған ПАА түрлерін қолдану ерекше маңызды.

Тазалау әдісіне байланысты ПАА екі түрге бөлінеді: аммиак және әк тәріздес түрлері. ПАА әдетте ішінара гидролизденген өнім ретінде шығарылады. Оның гидролиз дәрежесі 30%-ға дейін жетуі мүмкін. Молекулалық ПАА-ның құрылымы ұзын тізбекті макромолекулалар ретінде сипатталады. Бұл тізбектер негізінен көміртек, сутек және азот атомдарынан тұрады. Белгілі бір термодинамикалық және реологиялық жағдайларда полимер молекуласысының ұзындығы қабаттың кеуекті өлшемдеріне сәйкес келуі мүмкін. Кейбір жағдайларда бұл молекулалар толық ашылып, ұзын жіп тәрізді құрылым түзсе, басқа жағдайларда олар тығыз оралған дөңгелек немесе шар пішінде болуы мүмкін. Сулы ортада кеуекті қабат арқылы қозғалып, полимер молекулалары кеуекті құрылымның түйіршіктеріне адсорбцияланады және осы арқылы қосымша сүзу кедергісін туындатады. Бұл құбылыс сүзудің тиімділігіне және қабат ішінде сұйықтық ағынының сипаттамасына тікелей әсер етеді.

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, молекулалық салмағы жоғары мұнай молекулаларының өлшемі үлкен болып келеді, сондықтан олардың тау жыныстарының кеуектерінен өтуі қиындайды. Мұнайдың белгілі бір орташа молекулалық салмағына қарай тау жыныстарының абсолютті өткізгіштігін бағалау үшін арнайы кестелерді қолдануға болады. Алайда мұндай бағалау эмпирикалық тәсілге негізделетін және оның дәлдігі нақты жұмыс жағдайларына тәуелді екенін ескеру қажет. Мұнайдың орташа молекулалық салмағынан бөлек, тау жыныстарының абсолютті өткізгіштігіне басқа

факторлар да әсер етеді. Мысалы, тау жыныстарының кеуектілігі, кеуектердің өлшемі мен пішіні, саз минералдарының болуы және т.б. сияқтыларды айтуға болады.

Қабаттың минималды өткізгіштігі туралы мәліметтер және оларды зертханалық зерттеулер нәтижелерімен салыстыру 1.1 – кестеде көрсетілген. Бұл салыстыру оңтайлы орташа молекулалық салмақты анықтауға мүмкіндік береді. ПАА (полиакриламид) молекулалық салмағының жоғары болуы, амидтік топтардың қатысуымен жүретін күшті молекулааралық өзара әрекеттесудің, сондай-ақ макромолекулалық тізбекте сирек кішірейтілген учаскелердің болуымен түсіндіріледі. Бұл жағдай оның суда ерігіштік қабілетін шектейді. Сонымен қатар, ПАА молекулары молекулалық ассоциацияға бейім болып, ерітінді тұтқырлығын арттырады. ПАА ерітінділері жоғары тұтқырлықпен және өзіне тән псевдопластикалық қасиеттермен (кеңейтілген сұйықтық, яғни Дарси заңына бағынбайды) сипатталады. Сондықтан қысым градиентінің өсуімен полимерлі ерітіндінің жылдамдығы аз ғана өседі [11, 45 б.]. Тұщы суда карбоксил тобының зарядтарының өзара тебілуіне байланысты ПАА молекулалық тізбектері созылып, ерітіндінің тұтқырлығын арттырады. Ал керісінше, тұздылығы жоғары суларда бұл зарядтар бейтараптанады немесе иондық қабықшамен жабылады, нәтижесінде икемді тізбектері жиырылып, ерітінділердің тұтқырлығы төмендейді. ПАА 130⁰С-қа дейін ыстыққа төзімді болып, термиялық тұрақтылығын сақтай алады. Оттегі болмаған кезде ПАА ұзақ уақыт бойы өзінің қасиеттерін сақтайды [11, 42 б.; 12, 30 б.]. Полимерлі ерітінділерді қолдану әртүрлі механизмдер арқылы бітеп тастауға немесе кеуекті ортаның сумен қанығу деңгейін төмендетуге мүмкіндік береді. ПАА селективті адсорбциясы суға қаныққан ортаның өткізгіштігін 10-15 есеге дейін төмендетеді, ал мұнайға қаныққан ортаға әсері тек 5-25% (орта есеппен 5-10%) деңгейінде байқалады.

Кесте 1.1 – Орташа молекулалық масса мен есептік абсолютті өткізгіштік арасындағы эмпирикалық корреляциясы

Орташа молекулалық масса, 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 ПАА молекулаларының гидролизденуінен туындайтын ерекше қасиеттерімен түсіндіріледі: олар суда кеңейіп орналасады, ал мұнайда жиырылады [17]. ПАА өнеркәсіптік өндірісі түйіршіктер түрінде ұйымдастырылған. Полимердің кең көлемде шығарылуы шетелде де дамыған. Мысалы, АҚШ-та келесі маркалар шығарылады: Pusher 500, Pusher 700, Superpusher K-129, Сепаран Р-10, Р-20, АР-30, АР-273, РДА-1041, ОРР-40NT, DMP-310, CS-131, магнафлок, эйрфлок; Германияда - ДТ-120, ал Канадада – Ретен 423. ПАА ерітіндісінің тұтқырлығы оның маркасына, судың минералдану деңгейіне және ерітіндінің құрамындағы аралас компоненттердің мөлшеріне байланысты, бірдей концентрация жағдайында да, айтарлықтай өзгеруі мүмкін [18,19].

Биополимерлерге полисахаридтер, ксантандар (микробтық полисахарид), келцан, кем-ХД, ХС-биополимер, вазаран-д, склерглюкан-бейтарап гомополисахарид, сұйық шыны, ритизан және гуаран түрлері жатады. Бұл заттар судың жоғары минералдануына және деструкцияға төзімділігімен ерекшеленеді, бірақ олардың бағасы салыстырмалы түрде жоғары болып келеді. Проксаналдар-этиленоксиді пен пропиленоксидтің блок-сополимерлері, тиімді реагент рөлін атқаратын түрі. Олар төмен гигроскопиялық қасиеттерге ие, қышқылдар мен сілтілердің әсеріне төзімді, сондай-ақ жақсы майлау қасиетімен ерекшеленеді. Басты маркаларына Проксонал-224, Проксонал-268, Проксонал-305 түрлері жатады [20]. Этиленоксиді мен пропиленоксидтің блок-полимерлерінің маңызды қасиеттеріне мыналар жатады: төмен гигроскопиялығы – жоғары ылғалдылық жағдайында қолдануға мүмкіндік береді. Қышқылдар мен сілтілерге төзімділігі – агрессивті ортада қолдануға жарамды етеді. Жақсы майлау қасиеті – майлау материалдары ретінде пайдалануға қолайлы, жақсы жуғыш қасиеті – жуғыш заттар құрамында қолдануға мүмкіндік береді. Өзінің құнды қасиеттеріне байланысты проксаналдар әртүрлі өнеркәсіп салаларында кеңінен пайдалынады. Мұнай өндірісінде – бұрғылау ерітінділерінің тұтқырлығын арттыратын реагенттер және коррозия ингибиторлары ретінде қолданылады. Қағаз өнеркәсібінде – қағаз жабындары мен сіңіргіш қоспалар ретінде енгізіледі. Жеңіл өнеркәсіпте бұл полимерлер маталарды өңдеу мен әрлеуде көмекші заттар ретінде қызмет атқарады. Косметика және тұрмыстық химия саласында олар эмульгаторлар, қоюландырғыш және тұрақтандырғыш рөлін атқарып, тері күтіміне арналған өнімдердің құрамына енеді. Этиленоксид пен пропиленоксидтің блок – ерекше физика-химиялық қасиеттеріне байланысты қолдану аясы кең, құнды материалдар болып табылады.

Жоғары тұтқырлы мұнайы бар кенорнын игеру барысында, көбінесе жылулық әдістері қолданылады. Алайда әлемдік тәжірибе көрсеткендей, физика-химиялық әдіске жататын полимерлі су айдау бұл жоғары тұтқырлы мұнайлар үшін ең тиімді технологиялар бірі болып табылады. Бұл әдістің артықшылығы ең алдымен, мұнай мен полимер арасындағы тұтқырлықтың сәйкестігімен түсіндіріледі: мұнайдың тұтқырлығы неғұрлым жоғары болса, полимер ерітіндісінің тиімділігі де арта түседі. Полимерлі су айдау әдісінің

тиімділігін арттыратын бірнеше маңызды факторлар бар. Біріншісі, қысымның тиімді таралуы. Полимер ерітінділері коллектордың терең қабаттарына-мұнайдың негізгі бөлігі орналасқан аймақтарға дейін жетуі тиіс. Бұл үшін индукцияланған қысым градиентінің бағытын тиімді басқару қажет. Екіншісі, адсорбцияны шектеу. Полимер молекуларының коллектор жыныстарының бетінде артық мөлшерде ұсталып қалуы олардың тиімділігін төмендетеді. Бұл құбылысты бақылау – әдістің жалпы нәтижелігіне тікелей әсер етеді. Үшінші маңызды бөлігі, термиялық тұрақтылық. Полимерлер жоғары температура жағдайында да тұрақты болуы тиіс. Жақсартудың төртінші бөлігі – полимер ерітінділерді дайындау мен өңдеу технологияларын жетілдіру. Полимер ерітіндісінің бастапқы қасиеттерін сақтау – бүкіл жүйенің жұмыс тиімділігін қамтамасыз етеді.

1.3 Кен орындарында полимерлік су айдау әдісін қолдану тәжірибесі

1964 жылдан бастап мұнай өндіру көлемін арттыру мақсатында АҚШ-та полимерлі су айдау әдісі қолданыла бастады. 2015 жылға дейін 24 елде полимерлі су айдау әдісінің 733 өндірістік сынақтары өткізілді. Оның 8-і сынақ ретінде теңіз кен орындарында өткізілсе, соның ішінде 15%-ы карбонатты қабаттарында жүзеге асырылған [19, 66 б.]. 2016 жылы әлем бойынша мұнай кен орындарында 50-ден астам өнеркәсіптік эксперимент өткізілген [9, 17 б.]. Полимерлік су айдау сарқылған кен орындарда да, жаңа игеріле бастаған кен орындарда да табысты қолданылған.

Полимерлі су айдау технологиясы жеңіл және ауыр мұнай кен орындарында кеңінен қолданылады. Мысалы ретінде, Қазақстандағы Нұралы кен орнында мұнайдың тұтқырлығы 0,4-1,7 мПа·с, Marmul кен орнында (Оман) тұтқырлық шамамен 9 мПа·с, Brintell кен орнында (Канада) мұнайдың тұтқырлығы 1000-4000 мПа·с, ал Pelican-Lake кен орнында бұл көрсеткіш 10000 мПа·с дейін жетеді [21]. Полимерлі су айдау әдісі көптеген елдерде, соның ішінде АҚШ, Ресей, Қазақстан, Қытай, Канада, Таяу Шығыс, Үндістан, Индонезия және Оңтүстік Америка (Суринам, Колумбия, Бразилия) кен орындарында сәтті қолданылды. Полимерлі су айдау әдісін өнеркәсіптік ауқымда енгізуде Қытай жетекші елдердің бірі болып саналады. Қытайда полимерлі су айдау технологиясы 1990 жылдан бері қолданылып келеді. Жинақталған көп жылдық тәжірибе, тіпті кен орындарда сулану деңгейі 95%-дан жоғары болған жағдайдың өзінде, әдістің жоғары тиімділігін көрсетті [22-31].

Полимерлі су айдау Қазақстан кен орындарында кеңінен қолданылып келеді. Бұл технология алғаш рет 1981 жылы Қаламқас кенорнында енгізілді. Кейінгі жылдары әдіс бірқатар басқа кен орындарында да қолданылып, тиімділігін көрсетті. Забурунье (Ембімұнайгаз) кенорнында, 2014 жылдан бастап жүргізілген тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар мұнай өндіруді оңтайландыруда оң нәтиже берді. Қабат температурасы 38,9⁰С болған жағдайда мұнай тұтқырлығы 15,3 мПа·с-ға тең, өткізгіштігі - 0,526 мкм², ал мұнаймен қанығу деңгейі 63,8% болып анықталды. Сынақтарда Floraam 5205

vhm al-888 маркалы полимер қолданылды. Бұл полимер акриламид, акрил қышқылы және акриламид терт-бутилсульфон негізінде синтезделген термостабильді сополимер болып табылады. 2021 жылдың 1 қаңтарына дейінгі деректер бойынша полимерлі су айдау нәтижесінде, қосымша өндірілген мұнай көлемі 184635 тонна болып өндірістік көрсеткіштерге қол жеткізіледі. Қабатқа айдалған сұйықтық көлемі–жалпы кеуектілік көлемінің 14,7%-ын құрады. Осы аралықта 3640 тонна полимер пайдаланылды. Сулану мөлшері 2%-ға төмендегені анықталды. Нәтижесінде, 1 тонна полимерге шаққанда орта есеппен 50,7 тонна қосымша мұнай өндірілген. Мұндай тиімділік мұнайбергіштік коэффициентінің 2%-ға артуына ықпал етті [24, 75 б.]. Сонымен қатар, 2008 жылдан бері полимерлі су айдау әдісі Солтүстік Бозашы кен орнын тәжірибелік деңгейде қолданылуда. Бұл жерде мұнайдың қабаттық тұтқырлығы 605-2821 мПа·с аралығында, яғни ауыр мұнай жағдайларына тән күрделі ортада жүргізілген сынақтар полимерлі әдістің тиімділігін көрсетті.

2013-2014 жылдары Құмкөл кен орнында ағымды бағыттау мақсатында геллан полисахаридінің сулы ерітіндісіне негізделген технология енгізілді. Бұл биополимер жоғары минералданған сумен әрекеттескенде тұтқырлығының күрт артуымен ерекшеленеді. Нәтижесінде қабат сулануы 1,52%-ға төмендеді, ал мұнай өндіру көлемі артты [27, 53 б.]. Сол кезеңде, 2014 жылдың маусым-желтоқсан айлары аралығында, Оңтүстік Торғай бассейнінде орналасқан Нұралы кен орнында полимерлі су айдау технологиясының тәжірибелік-өнеркәсіптік сынағы өткізілді. Бұл тәжірибе жүргізілген учаске келесі сипаттамалармен ерекшеленеді: қабат өткізгіштігі – $0,4 \text{ мкм}^2$, салыстырмалы түрде кеуектілігі – 16%, мұнайдың тұтқырлығы 0,4-1,7 мПа·с аралығында болса, қабат температурасы 81°C деңгейінде болды. Сынақ барысында Floraam маркалы жоғары молекулалық салмақты полиакриламид (ПАА) қолданылды. Бұл полимер 90°C -қа дейінгі температурада термиялық тұрақты, сондай-ақ құрамында кальций мен магний иондары жоғары тұзды ерітінділерде тиімді жұмыс істей алады. Нәтижесінде, мұнай өндіру көлемі 7000 тоннаға артты, ал өнімнің сулануы 4-5%-ға төмендеді [30, 51 б.].

1.4 Полимерлік су айдауды қолдану критерийлері мен тұжырымдамалары

Көптеген ғылыми-зерттеу жұмыстарына сүйене отырып, полимерлік су айдау әдісіне тәжірибелік-өндірістік алаңдарды таңдау кезінде сақталуы тиіс критерийлер анықталды. Критерийлерді пайдалана отырып, бірнеше параметрлер ескеріледі. Осы критерийлер [32] еңбегінде ұсынылған. 1.2-кестеде полимерлік су айдауды қолдануға мүмкіндік беретін басты көрсеткіштер көрсетілген.

Полимерлі су айдау технологиясын енгізу кезінде тәжірибелік учаскелерді анықтау үшін К.С. Сорбидің полимерлі су айдауда қолданылатын критерийлері 1.3–кестеде келтірілген [33]. Бұл кестеде мұнай өндіруді арттыру мақсатында полимерлерді қолданудың кеңейтілген және нақты сипатталары берілген.

Кесте 1.2 – Полимерлі су айдаудың 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
Мұнайдың қанығуын, %	-	-	34-82	>30	>50
Температура, °C	<82	<93	<114	<77	65
Минералдануы, ppm	-	-	Маңызды емес		<46000

Зертханалық зерттеулерде статикалық және динамикалық типтегі бірнеше тәжірибе 1.3-кестеге сүйене отырып жүргізілген. Бұл процестердің ішінде келесі мәселелер қарастырылған: бағалау мен талдау, құрамның фазалық мінез-құлқын зерттеу, фазааралық кернеу өлшеулері, полимерлердің тұрақтылығы мен сынақтары, жиектерді оңтайландыру, мұнайбергіштік коэффициентін анықтау және реагенттерді ұстау (адсорбция). Судың өзгертелген түрі фазалық қасиеттерді анықтау және тиімді ығыстыру режимін таңдауға негіз ретінде қолданылды. Электрохимиялық модифициланған судағы (ЭМС) екі валентті катиондардың құрамын бақылау маңызды болып табылады.

Полимердің қасиеттерін өзгерту барысында екі валентті катиондар полимердің қасиеттерін өзгерте отырып, яғни, оның тұтқырлығын, эмульгациялық қасиеттері және қабатқа енудегі төзімділігіне әсер етіп, мұнай алудың тиімділігін төмендетуі мүмкін. Сондықтан, қабаттың мұнайбергіштігін арттыру үшін компьютерлік бағдарламаларды қолдану кезінде ерітіндідегі екі валентті катиондардың құрамын бақылау маңызды.

К.С.Сорбидің критерийіне сәйкес, полимерлі мұнай айдау технологиясы барысында мұнайдың тұтқырлығы мен қабаттың өткізгіштігіне назар аудару керек. Полимерлі су айдау тұтқырлығы жоғары (10 мПа·с астам) болатын мұнай кен орындары үшін тиімді болып табылады. Қабат өткізгіштігі $100 \cdot 10^{-15}$ м²- ден төмен болатын кен орындарында полимерлі су айдауды қолдану орынды болып саналады. Бұл әдіс өткізгіштігі жоғары және төмен қабатшалары бар біртекті емес қабаттардан мұнай алу тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Қабаттағы сазды минералдарының мөлшері маңызды фактор болып табылады. Саздың жоғары үлесі жағдайларында полимер молекулары саз бөлшектерінің бетінде адсорбцияланып, өз тиімділігін жоғалтуы мүмкін. Осы себепті, мұндай геологиялық құрылымдарда полимерлі айдауды қолдану

ұсынылмайды. 1.4 – кестесінде полимерлі су айдаудың пайдалану шарттары көрсетілген.

Судың минералдану критерийі полимерлік суландыру технологиясын қолданбас бұрын мұқият зерттелуі тиіс. Себебі, екі валентті катиондардың мөлшері полимердің тұрақтылығына кері әсер етіп, оның қабатта ұсталып қалу дәрежесін төмендетуі мүмкін. Бұл өз кезегінде полимердің тиімділігін азайтып, қабаттан мұнай алу нәтижелігін төмендетеді. Осыған байланысты, құрамында екі валентті катиондар мөлшері төмен минералданған суды пайдалану ұсынылады. Әсіресе, ЭМС-дың құрамындағы екі валентті катиондардың құрамын бақылау-бұл полимердің тиімді жұмыс істеуін және қабаттан мұнай алу процесінің оң нәтижелерін қамтамасыз ететін маңызды шарттың бірі болып табылады.

Кесте 1.3 – Полимерлерлі суланудың қолдану критерийлері

Критерийлер	Тұтқырлықты бақылау барысындағы полимерлі су айдау	Біртекті емес коллектордағы полимерлі су айдау	Ескертпелер
Мұнай тұтқырлығы	5 сП $<\mu < 30$ сП max 70сП	0,4 сП $<\mu < 10$ сП Max 20сП	Екі жағдайда да белгілері - судың ерте жарып шығуы және ығыстыру коэффициентінің төмен болуы болып табылады.
Ауқымды біртекті емес дәрежесі	Төменгі қабат мүмкіндігінше біртекті болуы тиіс	Біртекті емес дәрежесі 4-30	Біртекті емес қабатты бақылау: контраст әлсіз болған жағдайда полимерді қолдануды қажет етпейді, ал контрасттың жоғары мәндерінде ол қарапайым полимер үшін тым үлкен болады.
Абсолютті өткізгіштік	$>20 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$		Өткізгіштіктің төмен болуы полимердің қабатта көбірек ұсталып қалуына ықпал етеді.
Температура	Төмен температуралар қолайлы болып саналады. Оңтайлы температура – $<80^\circ\text{C}$, ал ең жоғарысы – $<95^\circ\text{C}$.		Температура жоғарылаған жағдайда полимердің деструкциясы жүреді
Суды қабаттың қабылдауы	Жақсы болуы керек, мүмкіндігінше белгілі бір резервтік қабылданумен қамтамасыз етілгені жөн. Кейде гидрожару әдісін қолдану пайдалы болады.		Егерде суды айдау кезінде қабаттың қабылдауы туралы мәселе туындайтын болса, полимер айдағанда бұл қиындықтар күшейеді.
Су горизонтының контактісі/ мұнай/су	Сулы горизонтына таяз айдау немесе мұнай/ су контактісінен терең төмен айдау.		Қабаттың мұнай қаныққан бөлігіне қозғалған кезде ұсталып қалуға байланысты қосымша шығындар.
Саздар	Мөлшері тым жоғары болмауы керек.		Әдетте олар полимердің қабатта күшті ұсталып қалуына ықпал етеді.
Айдалатын судың минералдануы / қаттылығы	Маңызды емес фактор, бірақ полимер түрін таңдауды анықтайды.		Минералдануы немесе қаттылығы жоғары болған жағдайда-биополимер қолданылады. Минералдануы немесе қаттылығы төмен болған жағдайда-полиакриламид пайдаланылады.

Кесте 1.4 – Полимерлі су айдаудың пайдалану шарттары

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

Тәжірибелік-өндірістік зерттеулерден басқа, полимерлі су айдаудың математикалық сипаттамаларын модельдеу де қарастырылды. Мысалы, [34] еңбегінде мұнай кен орнына полимерлі су айдау процесін сандық модельдеу әдісі қарастырылған, бұл әдіс бекітілген ағын түтікшесінің математикалық моделіне негізделген. Ұсынылған тәсіл полимерлі су айдаудың тиімділігін бағалауға және полимерді айдаудың оңтайлы режимдерін анықтауға мүмкіндік береді.

Полимерлі су айдаудың математикалық шешімі ньютондық емес сұйықтық моделі ретінде Гершель-Балкли үлгісін пайдалану арқылы қарастырылды [35]. Полимерлі су айдауды модельдеу кезінде ньютондық және ньютондық емес сұйықтық (Гершель-Балкли) модельдері қолданылады. Гершель-Балкли моделінің артықшылығы - ол полимер молекулаларының қайта бағдарлану процесінде ерітіндінің тұтқырлығының өзгеруін ғана емес, сонымен қатар шекті ығысу кернеуін де ескеруге мүмкіндік береді. Мұндай кешенді сипаттама полимер ерітіндісінің қабат ішінде қозғалысын неғұрлым нақты сипаттауға жағдай жасайды. Жүргізілген есептеулер нәтижесінде, Гершель-Балклидің ньютондық емес моделін қолданған кезде жинақталған мұнай өндіру көлемі ньютондық модельге қарағанда 15%-ға жоғары, ал қабат сулану деңгейі 7%-ға төмен болатыны анықталды. Бұл ньютондық емес қасиеттерді ескере отырып, мұнайбергіштік коэффициентін шамамен 10%-ға арттыруға мүмкіндік береді.

Қазіргі таңда әлемдік тәжірибеде мұнай кен орындарын игеруге арналған тиімді технологиялардың кең ауқымы қолданылуда. Алайда, жаңа кен орындарының ашылуы және қолданыстағы кен орындарды одан әрі игеру барысында бірқатар қосымша геологиялық, физикалық және технологиялық факторлар анықталады. Олардың қатарына сүзу қасиеттері әртүрлі қабаттар үшін айдау қысымының оңтайлы және ең төменгі мәндерін, айдау ұңғымаларының сағаларындағы және өндіруші ұңғымаларының түптеріндегі қысымның мерзімді өзгеру заңдылықтарын жатқызуға болады. Аталған факторларды жеткілікті зерттелмеуі қиын өндіруші қорларды игеру тиімділігінің төмендеуіне алып келеді [36].

Көптеген теориялық және эксперименттік зерттеулер, сондай-ақ өндірістік бақылау деректері көрсеткендей, мұнай кен орындарын игеру тиімділігіне әсер ететін ең маңызды факторлардың қатарында қабат

жағдайындағы мұнай мен судың қозғалғыштық коэффициенттерінің арақатынасы және қабаттың өткізгіштік бойынша біртекті емес болуы көрсетіледі. Мұнайдың тұтқырлығы артқан сайын мұнайбергіштік коэффициентінің көрсеткіші күрт төмендейді. Сонымен қатар, кеуекті ортаның әртектілігі ығысу қозғалысының біркелкі емес әсерін күшейтеді. Өткізгіштігі жоғары дәрежеде біртекті емес қабаттарда (егер өткізгіштігінің вариация коэффициенті 0,8 немесе одан жоғары болған жағдайда), тіпті тұтқырлығы төмен мұнайды ығыстыру кезінде де ығыстырушы агенттің аса өткізгіш аймақтары арқылы мерзімінен бұрын жылжуы байқалады [37]. Алайда жоғары тұтқырлы мұнайды ығыстыру жағдайында, тіпті біртекті қабаттарда да, тұтқырлыққа байланысты орнықсыздық құбылысы туындайды, бұл мұнайды ығыстыру тиімділігін төмендетеді. Төмен тұтқырлықтағы мұнайы бар табиғи қабаттарда коллекторлық қасиеттердің айырмашылығы мұнай мен судың қабат ішінде біркелкі таралмауына әсер етеді. Су айдау жүйесінің тиімділігін арттыру үшін өнімді қабаттарға физика-химиялық әсер ету әдістерін енгізу арқылы жүзеге асырылуы мүмкін екендігін көрсетеді.

Өртүрлі елдердің ғалымдары мұнай өндіру көлемін арттыру үшін химиялық реагенттерді, соның ішінде полимерлерді айдау әдістерін қолдану бағытында белсенді зерттеулер жүргізуде. Статистикалық деректерге сәйкес, қабаттардың мұнай бергіштігін арттырудың химиялық әдістерінің 77%-ы полимерлі су айдауға, ал 23%-ы полимер мен беттік-белсенді заттардың біріктірілген әдістеріне келтірілді [38]. Суда еритін полимерлерді ерітіндіге қосу судың тұтқырлығын арттырады, нәтижесінде флюидтердің қозғалысын тиімді бақылауға мүмкіндік береді және судың мұнайға қатысты салыстырмалы өткізгіштігін төмендетеді. Полимер қозғалғыштығын азайту мақсатында су қосылады. Полимерлерді қолдану нәтижесінде су фазасының өткізгіштігі едәуір төмендейді, ал мұнайды сумен ығыстыру фронты теңестіріледі. Бұл ұңғымаларды суланусыз пайдалану кезеңін ұзартып, мұнайды алу тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

Полимерді айдау технологиясы әдетте жоғары температура жағдайында жүзеге асырылады. Полимерді дұрыс тандау-полимерлі су айдау технологиясын ұзақ мерзімді әрі тиімді пайдаланудың негізгі шарты болып табылады. Кез келген зерттеу жұмысының алғашқы қадамы – қабатқа айдалынатын сұйықтықтың мақсатты тұтқырлық деңгейін анықтау. Осыдан кейін үш негізгі параметрді ескере отырып, ең қолайлы полимер түрі таңдалады:

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

Тиімді қасиеттерге ие полимерлердің құрамында болуы тиіс негізгі көрсеткіштер:

- көміртекті тізбек;
- теріс иондық гидрофильді топтар (тау жыныстарының бетіндегі адсорбцияны азайту үшін);

– иондық емес гидрофильді топтар (химиялық тұрақтылық үшін) [39].

Әртүрлі сулану сипаттамалары үшін қолданылатын полимерлердің жеке топтары бар:

- анионды полиакриламид ($75-80^{\circ}\text{C}$ -қа дейінгі температурада, төмен минералдану ортада қолданылады);
- сульфатталған сополимер және терполимер (100°C -қа дейінгі температура жағдайларына арналған);
- жоғары тұтқырлықтың мәндері мен минералдануға төзімділігі бар полимерлер, 75°C -қа дейінгі температурада;
- Flocomb сериясы (жоғары минералдануға төзімді полимерлер);
- F_3P -қорғанысы бар полимерлер блогы (O_2 , Fe және H_2S бар 120°C дейінгі температурада қолданылады).

Полимерлердің әр тобы молекулалық салмағы, иондық қасиеттері, термиялық тұрақтылығы, тұтқырлығы бойынша ерекшеленетін кіші топтарға бөлінеді. Қабаттардың мұнайбергіштік 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 әртүрлі параметрлердің қасиеттеріне ие. Бүкіл әлемде полимерлердің қасиеттері әртүрлі жағдайларда және әртүрлі ортада зерттеледі. Осындай өзекті мәселелердің бірі – полимерді кеуекті ортада ұстау болып табылады. Полимерді сәтті және тиімді қолдану үшін полимердің қасиеттерін қабатпен сәйкестендіріп модельдеу керек. Бұл модельдеуде температура, тұтқырлық, адсорбция және ұстау сияқты сипаттамалар ескерілуі керек.

Полимердің сүзу мәселесін зерттеу күрделі сипатқа ие. Қабатта полимердің ұсталып қалуын бағалау үшін бірнеше факторлар ескерілуі тиіс: полимер концентрациясы, ағын жылдамдығы, молекулалардың сүзгіш ортада ұсталу дәрежесі және тау жыныстарының өткізгіштігі. Ағынның жылдамдығы мен қабаттың геологиялық-физикалық қасиеттері полимер концентрациясына тікелей әсер етеді. Бұл көрсеткіш өз кезегінде полимерді қолданудың тиімділігін анықтайтын негізгі көрсеткіштердің бірі болып табылады.

Полимерлі су айдау – мұнай өндіру тиімділігін арттырудың негізгі технологияларының бірі болғанымен, бұл әдісте ескеруге тиіс маңызды аспект ретінде полимердің қабатта ұсталып қалу (кешігуі) мәселесін ескеру қажет. Полимерді ұстау мұнайды ығыстыру тиімділігін айтарлықтай төмендетуі мүмкін, себебі оның бір бөлігі кеуекті ортада қалып қояды. Полимерді ұстау процесі негізінен үш қадам арқылы орындалады: бірінші әрекетке кеуек бетіндегі физикалық адсорбция жатады [41-44]. Екінші әрекетке механикалық тоқтату жатады, мұнда полимер молекулалары диаметрі кіші тесіктерге енеді, ал шығу кезінде олардың өлшемі салыстырмалы өзгереді. Су мен тұз молекулалары осы кеуектерден еркін өтсе, полимер молекулалары үлкен болғандықтан, олар кеуектерде жиналып қалады [45, 46]. Үшінші әрекетке гидродинамикалық тоқтату жатады. Гидродинамикалық тоқтату – бұл полимер

ерітіндісінің қозғалыс жылдамдығына байланысты. Ағын тепе-теңдікке жеткен кезде белгілі бір мөлшердегі полимер шығыны орын алады. Полимер молекулалары кеуек диаметрін тарылтып, ағынға кедергі келтіреді. Нәтижесінде қабат ішіндегі полимердің таралуы мен қозғалысы шектеледі [47-49].

Полимер ерітіндісінің бірнеше түрлері бар. У.В.Гогарти өз еңбектерінде полимерлі ерітіндіні сұйықтық ретінде қарастырған. Полимердің тұтқырлығына әсер ететін бірқатар маңызды параметрлер бар. Мысалы, ығысу жылдамдығы тұтқырлыққа тікелей әсер етеді, себебі ол ағын коэффициентімен тығыз байланысты. Ал ph деңгейі полимердің тұтқырлығына айтарлықтай әсер етпегенімен, молекуланың гидролизіне ықпал етеді. Белгілі болғандай, температураның көтерілуі тұтқырлықты төмендетеді. Бұл құбылыс температураның әсерінен полимер молекулалары арасындағы ішкі үйкелістің азаюымен және ағынға қарсылықтың төмендеуімен түсіндіріледі.

Егер полимердің белсенділік энергиясы артса, оның тұтқырлығы температураға пропорционалды түрде өзгереді. Полимер үшін ең маңызды факторлардың бірі – оның тұрақтылығы. Бұл мәселені талдағанда молекулалардың деградациясы да ескерілуі тиіс. Полимердің тұрақтылық процесінің өзі үш негізгі топқа бөлінеді: химиялық, механикалық және биологиялық тұрақтылық [44, 85 б.].

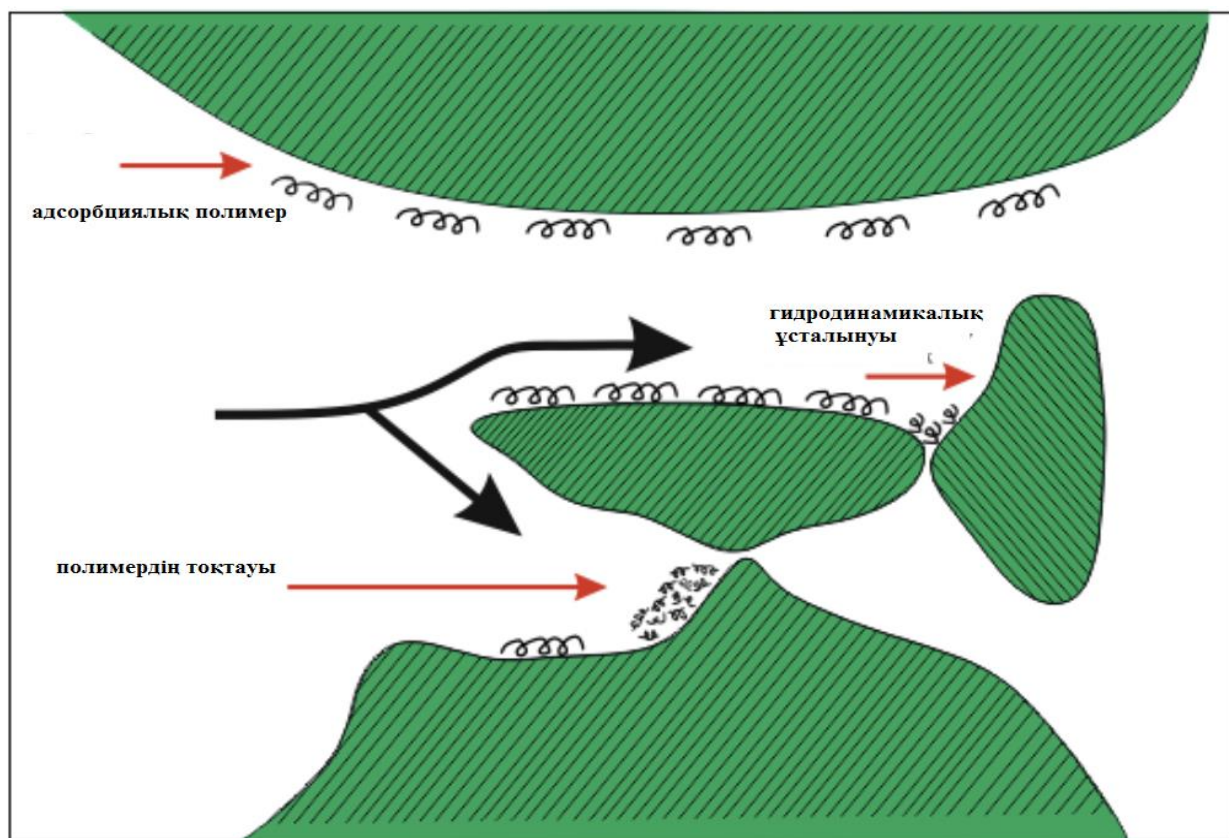
Отандық және шетелдік мұнай кен орындарын игеру тәжірибесі көрсеткендей, мұнайбергіштікті арттырудың кең таралған әрі өнеркәсіптік сынақтармен тиімділігі дәлелденген әдістерінің бірі – суда еритін полимерлерді пайдалану. Бұл тәсіл полимерлі су айдау технологиясының нәтижелігін көрсетеді. Полимерлі су айдау механизмі келесі факторларға негізделеді: айдалатын судың қозғалғыштығын қоюланған полимер ерітінділері арқылы төмендету, полимер молекулаларының қабат ішінде адсорбциялануы нәтижесінде қалдық кедергі факторының түзілуі, сондай-ақ су айдау аймағында және қабаттың тік қимасында фильтрация фронтының теңестірілуі.

Қолдануға ұсынылатын полимер ерітінділері келесі қасиеттерге ие болуы тиіс: қолайлы реологиялық қасиеттер, мұнайды тиімді ығыстыру қабілеті, жоғары тұрақтылық көрсеткіштері және термохимиялық төзімділік. Бұл қасиеттерді зерттеу және бақылау, сондай-ақ полимерлі су айдау технологиясын жетілдіру – технологиялық тиімділікті арттырудың маңызды алғышарттары болып табылады [50].

Біртекті емес қабаттарда мұнайды тиімді ығыстыру үшін жоғары молекулалық массасы бар суда еритін полимерлерді қолдану ұсынылады. Мұндай полимерлердің аз мөлшерінің өзі судың қозғалғыштығын күрт төмендетеді. Жоғары тұтқырлықтағы ығыстыру агенттерін қолдану тұтқырлық тұрақсыздығын азайтуға және біртекті емес қабаттарда ығыстыру фронтының теңестірілуіне мүмкіндік береді. Бұл қабаттың су айдау арқылы қамту аймағын кеңейтіп, нәтижесінде мұнай өндіру көлемін арттыруға ықпал етеді [2, 65 б.].

Әртүрлі материалдарды қарастырған кезде, полимер молекулаларының кеуекті ортада таралуы мен ұсталып қалуы кеуек өлшемдеріне тікелей тәуелді

екенін көрсетеді. Бұл тұрғыда келесі сұрақ туындайды: "Неліктен кеуек өлшемдері полимер молекулаларына әсер етеді?". Егер полимер молекулаларының өлшемі кеуек диаметріне сәйкес келмесе, олардың қабат ішінде таралу жылдамдығын төмендетеді. Полимерлердің таралуы кешіктірілген жағдайда, мұнайды ығыстыру үдерісі де баяулайды. Полимердің қабат ішінде ұсталып қалу деңгейі оның концентрация дәрежесіне, молекула өлшеміне және тау жыныстарының тығыздығына байланысты. Қолжетімсіз кеуек көлемдері полимер ағынының бағытын өзгертіп, оның жылдамдығын арттыруы мүмкін, себебі ірі полимер молекулалары барлық беткі кеуектерге ене алмайды [51]. Көптеген зерттеу жұмыстары полимер молекулаларының жоғары жылдамдықпен қозғалатынын көрсетті. Осылайша, қолжетімсіз тесіктердің пайда болуы полимердің таралуын жылдамдатуы мүмкін, бірақ бұл процестің тиімділігін төмендетеді. Мұндай әсер әсіресе, қабат толығымен суға қаныққан жағдайда күшейеді [52]. Полимер молекулалары кеуек өлшемімен сәйкес келмеген кезде, олар 1.1-суретінде көрсетілгендей тесіктерден өте алмайды. Бұл жағдайда молекулалары қабат бетіне адсорбцияланып, ұсталып қалады, нәтижесінде полимердің тиімді концентрациясы азаяды.



Сурет 1.1 – Полимерді кеуекті ортада ұстаудың негізгі схемасы

Полимер молекулаларының қабат ішінде таралуы олардың гидродинамикалық өлшемдеріне тікелей байланысты. Егер кеуек өлшемі тым кішкентай болса, полимердің әрі қарай қозғалысы шектеледі, себебі кеуек арналары полимер молекулаларының өтуіне жеткіліксіз болады. Кеуек

қабырғасына жақын орналасқан полимер молекулаларының қозғалысы өзара әрекеттесу салдарынан баяулайды. Бұл жағдайда молекулалар қабырға бойымен баяу қозғалады. Ал кеуек ортасында орналасқан молекулалар, қабырғамен жанаспайтындықтан, салыстырмалы түрде еркін қозғалады. Сондықтан полимер молекулаларының қолжетімсіз және қолжетімді кеуектердегі қозғалысы - қабат ішіндегі тасымалдау механизмдерін түсіну үшін маңызды факторлардың бірі болып табылады [53].

Полимерлер тау жынысының бетімен иондық немесе сутектік байланыстар арқылы әрекеттесіп, оған адсорбциялануы мүмкін. Мұндай жағдайда молекулалар жыныс бетіне бірнеше нүктеде бекініп, адсорбция процесі көбіне қайтымсыз сипатта болады. Сонымен қатар, өте ірі молекулалар кеуекті арналардың кіреберіс аймақтарында физикалық тосқауылға ұшырап, қысылып қалуы мүмкін. Кейбір жағдайларда полимер молекулалары қабат ішіндегі уақытша тоқырау аймақтарында немесе ағыннан оқшауланған кеңістіктерде ұсталып қалуы ықтимал. Бұл құбылыстар полимердің қабат ішінде біркелкі таралуына кедергі келтіріп, мұнайды ығыстыру тиімділігін төмендетуі мүмкін.

Полимердің қабатта ұсталуын зертханалық жағдайда бағалау үшін статикалық және динамикалық әдістер қолданылады. Статикалық әдіс – белгілі бір массадағы полимер ерітіндісін ұсақталған тау жынысы немесе құмтаспен араластыруға негізделген зерттеу тәсілі. Бұл әдіс негізінен физикалық адсорбция деңгейін анықтауға мүмкіндік береді, алайда полимердің қабат ішінде қозғалысы ескерілмейді. Қолданылатын ұсақ құм бөлшектерінің беткі адсорбция аймағы табиғи коллектор жыныстарына қарағанда әлдеқайда үлкен, сондықтан бұл әдіс шынайы қабаттағыдан жоғары адсорбция деңгейін көрсетеді. Полимер молекулалары сынау кезінде қолданылатын ыдыс қабырғаларына жабысып қалуы мүмкін, бұл сұйықтықтағы нақты концентрацияны анықтауға материалдық тепе-теңдіктің бұрмалануына әкелуі ықтимал. Статистикалық өлшеулер нақты температура, қысым және уақытқа параметрлерінде алынған нәтижелерге негізделеді.

Полимердің ұсталуы мен қабатта таралуын сандық бағалауға арналған тиімді әдіс – динамикалық әдіс болып табылады. Динамикалық әдісте полимер ерітіндісінің фронттары қабат үлгісі арқылы жылжымалы ағын түрінде өткізіледі. Мұндай жағдайда нақты сүзу процесі модельденеді, сондықтан алынған нәтижелер табиғи жағдайларға жақын болып келеді. Қабаттағы қолжетімсіз кеуек көлемін бағалау мақсатында индикаторлық заттар (мысалы, калий йодиді) пайдаланылады. Бұл индикатор полимермен бірге қабат арқылы айналып, ультракүлгін спектрофотометр арқылы ерітінді құрамындағы өзгерістер бақыланады. Индикатор мен полимердің өнімділік уақыты салыстыру арқылы полимердің кеуекті ортада ұсталуы мен таралу жөнінде ақпарат алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, тұтқырлық немесе концентрация профильдерін құру арқылы полимердің қабаттағы динамикалық ұсталуын нақты сипаттауға болады [54].

1.5 Су-газ әсер ету технологиясын қолдану мәселелеріне шолу

Мұнай кен орындарын игерудің әртүрлі әдістері алдыңғы бөлімде қарастырылды. Мұнай өндіру көлемін арттыру әдістерінің бірі – кен орындарын игерудің гидродинамикалық жүйесі болып табылады. Бұл жүйеге физикалық, физикалық-химиялық, микробиологиялық және су-газ әсері сияқты әдістер жатады. Су-газ әсері (СГӘ) – мұнайлы қабаттан тиімді ығыстыру және қабат қысымын тұрақты ұстап тұру үшін қолданылатын кешенді әдіс. Бұл технология су айдау және газбен ығыстыру процестерін тәжірибелік тұрғыдан кешенді талдау нәтижесінде қалыптасқан. Жүргізілген зерттеу нәтижелері су айдау кезінде қабаттағы судың ұңғыма түбіне мерзімнен бұрын жету фактілері жиі тіркелетінін көрсетті. Мұндай жағдай өндірілетін өнімнің сулану деңгейінің артуына және мұнай өндіру тиімділігінің төмендеуіне алып келеді. Осыған ұқсас кемшіліктер газбен ығыстыру технологиясында да байқалады, алайда бұл жағдайда газдың қабат арқылы жоғары жылдамдықпен жылжуы үдерістің тұрақтылығына кері әсерін тигізеді. Осы себептерге байланысты су және газ айдау әдістерін біріктіру қажеттілігі туындап, су-газ әсер ету технологиясы әзірленді. Бұл тәсіл қабатқа әсер етудің баламалы әрі тиімді әдісі ретінде қарастырылып, қазіргі таңда ғылыми-зерттеу мен өндірістік тәжірибеде кеңінен қолданылуда. Әртүрлі әдеби дереккөздеріне сәйкес, су-газ әсер ету технологиясын пайдалану мұнайбергіштік коэффициентін су айдау әдісіне қарағанда 10-15%-ға арттыруға мүмкіндік береді. Бұл технология өткізгіштігі төмен қабаттағы мұнай өндіру тиімділігін жақсартуға септігін тигізеді, себебі мұндай қабаттарда мұнай алу коэффициенті, әдетте, төмен деңгейде болады. Сонымен қатар, су-газ әсері қосымша мұнай газын тиімді түрде кәдеге жаратуға жағдай жасайды.

Су-газ әсері алғаш рет Канадада 1957 жылы құмтасты қабаттарда жүзеге асырылды. Бұл әдіс дәстүрлі су айдау процесі мен су-газ технологиясының біріктірілген формасы ретінде сипатталады. Су айдалған қабат бөлігінің кеуекті ортасында капиллярлық күштердің әсері басым болады. Нәтижесінде, су ең ұсақ гидрофильді кеуектерді толтырады. Ал, газ фазасы суланбайтын орта ретінде негізінен үлкен кеуектерге таралып, ауырлық күшінің әсерінен қабаттың жоғары бөлігінде жиналады. Су-газ әсерін жүзеге асырудың негізгі тәсілдеріне: су-газ қоспасын қабатқа айдау немесе суды және газды кезектесіп айдауды айтамыз. Су-газ қоспасын қабатқа айдау күшейткіш қондырғылар көмегімен немесе эжекторлық жүйелерді пайдалану арқылы жүзеге асырылады. Аталған әдіс бойынша мұнайды ығыстыруға арналған зертханалық және тәжірибелік-өндірістік жұмыстар ұзақ жылдар бойы жүргізіліп келеді. Жүргізілген зерттеудің нәтижелері су-газ әсерінің қолданбалы тиімділігін дәлелдейді.

Су-газ әсерінің режимдерін газ-сұйық қоспасы арқылы реттеу – бұл әсер ету уақыты, су-газ қатынасының шамасы, қабатқа әсер ету бағыты мен технологиялық тиімділік арасындағы өзара байланыстарды ескеруді қажет ететін күрделі көп параметрлі міндет болып табылады. Мұнай қорларын бейстационарлық технологиялармен қарқынды өндіру кезінде, әсіресе қабатқа

циклдік су-газ әсерін қолдану барысында бірнеше шешілмеген мәселелер туындайды. Солардың бірі – су-газ қоспасын тұрақты және мерзімді режимде пайдалану жағдайында мұнайды ығыстыру тиімділігін анықтау. Аталған мәселенің шешілуі өндірістік жағдайда аса өзекті болып қана қоймай, ғылыми-техникалық тұрғыдан да маңызды. Алайда, қазіргі зерттеулер су-газ әсерінің қолдану ауқымының шектеулі бөлігін ғана қамтиды. Әсіресе жоғары тұтқырлы мұнаймен сипатталатын кен орындары үшін өзекті, себебі мұндай жағдайларда су-газ әсерін қолдану мәселесі әлі де жеткілікті зерттелмеген. Су-газ әсері мәселесін көптеген зерттеушілер қарастырды. Мысалы ретінде, су-газ қоспасын айдау процесін Шумов және Уренгой кен орындары (Ресей) жағдайында модельдеу ұсынылған. Бұл мақсатта алдын ала зерттеулер жаппай үлгіде және кен орны үлгілерінде жүргізілді. Зерттеу барысында рекомбинацияланған мұнай сынамасы қолданылды. Қоспадағы газ мөлшері 34,9-39,7% аралығында болған. Жалпы айдалған су көлемі 3,84-4,63 кеуек көлеміне тең болды. Нәтижесінде, мұнай алу коэффициенті 6,6-11,1%-ға дейін артқаны анықталды. Зертханалық тәжірибелер су-газ әсерін кен орнын игерудің бастапқы кезеңінде қолдану тиімдірек екенін көрсетті. Сонымен қатар, модельдеу нәтижелері су-газ қоспасының құрамындағы газ мөлшері мұнайдың тұтқырлығына әсері арқылы соңғы мұнай алу коэффициентіне тікелей ықпал ететінін көрсетті. Су-газ әсерін қолдану мұнайды ығыстыру процесін жақсартып, қалдық мұнай қанығуын азайтады. Уренгой кен орнында бұл әдіс қабатты қысымды ұстап тұру арқылы мұнайбергіштік коэффициентін арттыруға себеп болды [55]. Ал, [56] еңбегінде қабат қысымының жоғары және төмен жағдайларында сорғы-эжектор арқылы су-газ қоспасын айдаудың екі технологиялық сұлбасы келтірілген. Бұл технологияда көбік түзейтін беттік-белсенді заттарды пайдалану қарастырылған. Көлденең ұңғымалары бар кен орындарында су-газ қоспасын қолдану мүмкіндіктері зерттелген. Су-газ әсерінің жұмыс істеу механизмі көрсетілген. Су-газ әсерінің тиімділігі қалдық мұнайды газбен толық жуу процесіне негізделген. Бұл өз кезегінде, айдау ұңғымаларының өткізгіштігін артуына және суды қабылдау қабілетінің бірнеше есе жоғарлауына әкеледі. Су-газ әсерінің мәні – кәдімгі су айдау кезінде екі араласпайтын сұйықтықтар (мұнай мен судың) арасындағы өзара әрекеттесу нәтижесінде беткі керілу күші мен капиллярлық қысым градиентінің артуында жатыр. Газ жиегін айдау мұнайды ығыстыру коэффициентін арттырады, ал су жиегін айдау қабаттың қамтылу дәрежесін жоғары деңгейде ұстап тұруға мүмкіндік береді. Бұл әдіс қабатты неғұрлым тиімді игеруге жағдай жасайды.

Су-газ әсерінің тиімділігі бірнеше факторлармен түсіндіріледі: мұнайдың динамикалық тұтқырлығының төмендеуі (газдың мұнайда еруі арқылы), қабат қысымын тиімді деңгейде сақталуы, сондай-ақ бастапқы динамикалық ығыстыру қысымының градиентінің төмендеуімен түсіндіріледі. Зерттеу барысында (U-тәрізді) көлденең ұңғымалардың әртүрлі нұсқаларының модельдері қарастырылды. Су-газ қоспасын айдау бағытын өзгерту арқылы әртүрлі айдау әдістері салыстырмалы түрде талданды [57, 58].

Су-газ әсерін сәтті қолдану тәжірибесі Алексеев кен орнында (Ресей) сипатталған. Бұл әдіс 2005 жылы жоғары жарықшақты-кеуекті құрылымы бар горизонтының екі бөлек қабаттарында жүзеге асырылған. Аталған қабаттар жоғары біртектілігімен және төмен өткізгіштігімен ерекшеленеді. Процестің тиімділігі айналатын газдың мұнаймен араласып, оның тұтқырлығын төмендетуімен, газдың шайғыш қасиеттерімен және су мен газ қоспасын циклдік түрде айдау арқылы қамтамасыз етіледі. Осы әдісті енгізу нәтижесінде мұнай алудың ағымдағы коэффициенті 19,4%-ды құрады [59].

Ғылыми әдебиеттерде су-газ әсерінің әртүрлі нұсқалары жан-жақты қарастырылған. Зерттеушілер бұл әдісті екі сипаттамаға бөлуді ұсынады: айдау процесінің сипаттамасы және айналатын агентінің түрі. Қазіргі таңда су-газ әсерін жүзеге асырудың жеті негізгі түрі белгілі:

1) дәстүрлі су-газ әсері: су мен газ циклдік тәртіпте айналады. Әр циклдегі су мен газдың көлемі бірдей мөлшерде алынып, коллектордың геологиялық-физикалық сипаттамалары мен жағдайына сәйкес есептеледі.

2) газ бен суды циклдік айдау (ГСЦА): бұл әдіс дәстүрлі су-газ әсеріне ұқсас, бірақ мұнда алдымен газ айналады.

3) гибридті су-газ әсері (ГСГӘ): су мен газды циклдік айдауға дейін қабатқа газдың ірі көлемі алдын ала енгізіледі, бұл мұнайды ығыстыру тиімділігін арттыруға бағытталған.

4) су мен газды бір мезгілде айдау (СГБМА): су мен газ бетік жағдайында араластырып, бір ұңғыма арқылы бір уақытта айналады. Мұндай жағдайда қабатқа екі фазалы жүйе немесе олардың біртекті дисперстік қоспасы (мысалы, судағы газ көпіршіктерінің эмульсиясы) енгізіледі.

5) суды және әртүрлі мөлшердегі газ бөліктерін кезек-кезек айдау (СӨМГКА): бұл әдіс кен орнын игерудің әртүрлі сатыларында су-газ қатынасын икемді түрде реттеуге мүмкіндік береді. Әсер режимі әртүрлі айдау коэффициенттерін қолдануға негізделген. Тұрақты су-газ әсерімен салыстырғанда, СӨМГКА технологиясы су мен газдың көлемдерінің арақатынасын қабаттың нақты геологиялық-физикалық жағдайларына бейімдеуге, өндіріс процесіндегі тұрақсыз тәуекелін төмендетуге және жүйенің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, өндіру қарқынын өндірістік жабдықтар мен құбыр жүйесінің техникалық параметрлеріне сәйкес жасанды түрде арттыруға немесе баяулатуға болады.

6) селективті бір уақытта су мен газды айдау (СБУСГА): бұл әдіс су мен газды бір мезгілде айдауға негізделген, алайда негізгі айырмашылығы – айналатын фазалар қабатқа баратынға дейін араластырылмайды. Газ бен су жеке ағындар түрінде қабатқа енгізіледі. Бұл үшін арнайы қос ұңғыма аяқталымы бар айдау ұңғымасы пайдаланылады.

7) су мен газдың жоғары және төмен ауыспалы айналуы (жоғары және төменгі): бұл әдіс қабаттағы мұнайды ығыстыру фронтын тиімді басқаруға бағытталған. Процесс СБУСГА әдісіне ұқсас, алайда мұнда айналатын агенттердің бағыты әрбір цикл сайын өзгеріп отырады. Әдетте бірінші циклде су төменгі интервалға, ал газ жоғары интервалға айналады. Екінші циклде,

керісінше: су жоғарыдан, ал газ төменнен беріледі. Мұндай тәсіл фазалардың тығыздық және тұтқырлық айырмашылығына негізделген бағытталған қозғалысын (судың төмен қарай, ал газдың жоғары көтерілуін) қамтамасыз етеді. Бұл өз кезегінде қабаттың әртүрлі бөліктерін қамтуға, мұнайды тиімді ығыстыруға және үш фазалы аймақтың кеңеюіне мүмкіндік береді. Нәтижесінде ығыстыру процесінің тиімділігі артады, ал мұнай алу коэффициенті жақсарады [60].

Қабатқа айдау үшін негізінен көмірқышқыл газы, майлы немесе құрғақ көмірсутек газдары (ілеспе немесе табиғи газ) қолданылды. Сонымен қатар, басқа да газ түрлерін қолдану мүмкіндігі бар. Зерттеушілер су-газ әсерінің тиімділігін және технологиялық мүмкіндіктерін жан-жақты қарастырады. Қолданылатын агенттердің түрін, мөлшерін және айдау тәртібін өзгерту қабаттағы фазааралық керілуді азайтуға, мұнайдың тұтқырлығын төмендетуге, сондай-ақ қабатқа әсер ету процесін тиімді реттеуге мүмкіндік береді. Бұл нәтижесінде мұнайды ығыстыру дәрежесін арттырып, жалпы алғанда қабаттың мұнайбергіштік коэффициентін жоғары деңгейге жеткізеді [61].

Беттік белсенді заттарды қолдану арқылы су-газ әсерінің эксперименттік зерттеуі жүргізілген. Кеуекті орта ретінде диаметрі 100 мкм-ден кіші кварц құмы пайдаланылды. Бұл жағдайда судың өткізгіштігі 0,3-0,4 мкм², ал кеуектілігі 33-38% аралығында болды. Мұнайдың үлгісі ретінде керосин қолданылды. Зерттеу барысында керосинді сумен және газбен ығыстыру (базалық тәжірибелер), сондай-ақ су мен пайдалы белсенді заттар қоспасы арқылы ығыстыру тәжірибелері жүргізілді. Пайдалы белсенді заттар ретінде суда 0,1% көлемдік концентрациясы бар нафтенол-мл ерітіндісі пайдаланылды. Жұмыс қысым жағдайында $P_{\text{жұмыс}} = 1-1,5$ МПа (төмен қысым), керосиннің сумен ығысу коэффициенті 53%, азотпен – 46%, беттік белсенді зат ерітіндісімен – 60% деңгейінде анықталды. Су-газ қоспасымен ығыстыру түрлі газ мөлшерінде жүргізілді. Газдың көлемдік үлесі 16,5-59,8% аралығында болған жағдайда, керосинді алу коэффициенті 65-дан 75%-ға жетті. Газ мөлшерінің одан әрі артуы немесе азаюы тиімділіктің төмендеуіне алып келеді. Төмен қысымды тәжірибелерде газ көпіршіктерінің орташа диаметрі 600-ден 900 мкм аралығында болды. Жұмыс қысымының $P_{\text{жұмыс}} = 6-6,5$ МПа (жоғары) деңгейіне дейін жоғарылауы және аппараттың өту қимасының оңтайлы таралуы көпіршіктердің диаметрін 50-125 мкм аралығына дейін азайтуға мүмкіндік берді. Бұл жағдайда модельдің су бойынша өткізгіштігі 0,19-0,22 мкм², ал кеуектілігі шамамен 40%-ды құрады. Газ мөлшерінің 21,7-77,8% аралығында өзгеруі кезінде керосинді алу коэффициенті 67-75% аралығында тіркелді. Жүргізілген талдаулар керосинді ығыстыру процесінде қысымға тәуелсіз, газдың оңтайлы мөлшеріне сәйкес келетін тиімді диапазон бар екенін көрсетті. Бұл жағдайда ығыстыру коэффициенті тұрақты түрде 74-75% деңгейінде сақталады. Ұқсас нәтижелер басқа зерттеушілер еңбектерінде де келтірілген [62].

Су-газ әсері технологиясында газ ретінде көмірқышқыл газын (CO₂) пайдалану ұсынылған. Көмірқышқыл газы – түссіз, иіссіз және улы емес газ,

калыпты жағдайда оның тығыздығы $1,98 \text{ кг/м}^3$ -ті құрайды. Ауадан ауыр бұл газдың суда еру қабілеті жоғары, сонымен қатар, еріген күйде судың тұтқырлығын арттыруға әсер етеді. Мысалы, $T=20^{\circ}\text{C}$ температурада және $P=11,7 \text{ МПа}$ қысымда көмірқышқылданған судың тұтқырлығы $1,21 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ -қа жетеді. Газының концентрациясы жоғарылаған сайын, судың тұтқырлығы да артады. Қысым артқан жағдайда көмірқышқыл газының суда еру белсенділігі де ұлғаяды. Алайда температура мен судың минералдану дәрежесінің жоғарлауы бұл газдың ерігіштігін төмендетеді. Су-газ әсерін жүзеге асыру барысында көмірқышқыл газының осы физика-химиялық қасиеттерін пайдалану – мұнайды ығыстыру тиімділігін арттыруға септігін тигізеді. Сонымен қатар, көмірқышқыл газының мұнайда еру қабілеті де маңызды фактор болып табылады. Бұл процесс мұнайдың тұтқырлығын төмендетіп, мұнай мен су фазалары арасындағы беттік керілуді азайтады. Мұндай құбылыстар мұнай алудың тиімділігін арттырып, мұнайбергіштік коэффициентінің өсуіне әкеледі. Алайда, көмірқышқыл газының кеңінен қолдануға кейбір шектеуші факторлар кедергі келтіреді. Біріншіден, оның айқын коррозиялық қасиеті бар, бұл металл құбырлар мен жабдықтардың тозуын жылдамдатады. Екіншіден, көмірқышқыл газы мұнаймен толық араласпаса, жеңіл көмірсутектер бөлініп шығып, мұнай қозғалысының төмендеуіне алып келеді. Бұл өз кезегінде қосымша шығындарға әкеледі [63].

Көп қабатты біртекті емес қабаттардан мұнайды су-газ қоспасымен ығыстыруға бағытталған теориялық және өндірістік зерттеулер жүргізілген. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, ығыстырушы агентті тұрақты режимнен ауыспалы режимге көшіру ұңғымалардың өнімділігін арттыратынын көрсетті. Мұнайды су-газ қоспасымен тиімді ығыстыру үшін айдау ұңғымаларының кеңістік орналасуын оңтайландыру ұсынылады. Бұл тәсіл айдау ұңғымалары арасындағы арақашықты, қабат өткізгіштігінің әртүрлі аймақтарды және қалдық мұнай қоры жоғары учаскелердің орналасуын ескере отырып жүзеге асырылады. Су-газ әсерін оңтайландыру бойынша жасалған ұсынымдар Кизелов горизонтының Алексеев кен орнында қолданылған [64-65].

Мұнайдың әртүрлі құрылымдық-механикалық қасиеттері жағдайында газ-сұйық қоспасын пайдалануға арналған математикалық шешім ұсынылған. Пайдалы белсенді заттар ерітіндісі бар газ-сұйық қоспаны айдау кезінде жүйенің сіңіргіштік қабілетіне, беттік керілуіне және қысымға әсер ету ерекшеліктері қарастырылған. Алынған нәтижелер газ-сұйық қоспаларды өтпелі фазалық күйде қолдану (газсыздандырылған сұйықтықтар мен өтпелі фазалы жүйелермен салыстырғанда) мұнайды ығыстыру тиімділігін арттыратынын көрсетті [67].

Қазіргі уақытта полимерлерді пайдалана отырып су-газ әсерін жетілдіру – мұнай өндіру саласындағы өзекті зерттеу бағыттарының бірі болып табылады. Қабатқа полимер ерітінділерін айдауға қатысты жүргізілген зерттеулер мұнаймен қамтылатын аймақтың кеңеюіне және ығыстыру тиімділігін артуына ықпал етеді. Полимерлі су-газ әсері мұнайбергіштікті арттыруға бағытталған заманауи технологиялардың бірі ретінде қарастырылады. Бұл әдіс мұнай алу

коэффициентін ұлғайтып қана қоймай, сонымен қатар кен орындарын игерудің экономикалық тиімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

1– бөлім бойынша қорытынды

Осылайша, әдеби дереккөздерге жүргізілген талдау қабаттарды өңдеуде полимерлі және су-газды әдістерінің тиімділігін көрсетті. Дегенмен, полимерлі айдаудың бірқатар артықшылықтарына қарамастан, бұл әдістің кейбір кемшіліктері де бар. Атап айтқанда, дайындалатын ерітінді үшін қолданылатын судың сапасы, қабаттағы су-фазасының әсері және полимердің түрлі деструкциялық өзгерістері процестің жалпы тиімділігіне кері ықпал етуі мүмкін. Сонымен қатар, мұнай алу коэффициентін едәуір арттыру үшін полимер ерітіндісінің үлкен көлемін айдау немесе ерітіндінің концентрациясын арттыру қажет болады.

Осы зерттеуде қабатқа әсер етудің жетілдірілген әдісі қарастырылады, оның негізгі полимер ерітіндісінің айдалған бөлігін су-газ қоспасымен (эмульсиямен) ығыстыру ұсынылады. Бұл тәсілде су мен газдың оң әсер етуші қасиеттері үйлесімді түрде қолданылады. Нәтижесінде қабаттың қамтылу аймағын кеңейтуге және мұнайды ығыстыру тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

2 МҰНАЙДЫ ӘРТҮРЛІ МАРКАЛЫ ПОЛИМЕРЛЕРМЕН ӨЗАРА ӨСЕРЛЕСУ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

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

Мұнай өндіруді тұрақтандырудың ең тиімді және перспективті әдістерінің бірі полимерлі композицияларды айдауды қолдануға негізделген физика-химиялық технологиялар болып табылады. Негізгі мақсат – жоғары тұтқырлы мұнай мен қиын алынатын қорлары бар қабаттардағы полимерлік композицияларды қолданудың тиімділігін зерттеу және оларды кен орындарында қолдануға ұсыну.

Бұл тарауда GL-50 және R-1 полимерін зерттеу нәтижелері келтірілген, олар Қаламқас кенорнының Ю-4С, Ю-3С горизонттарының учаскелеріндегі әртүрлі тереңдіктегі ұңғымаларынан алынған үлгілерінде талдау жасалынды.

Шикі мұнай қасиеттері ұңғыма сағасында алынған сынамалар және тереңдіктегі сынамалар газсыздандырғаннан кейін бағаланды. Кен орындарының көпшілігі біркелкі бөлінген жеткілікті сынамалармен ұсынылған, бұл мұнайдың жер үстіндегі орташа қасиеттерін бағалауға мүмкіндік береді.

Қаламқас кенорнының мұнайы ауыр (қабаттар бойынша стандартты жағдайларда орташа тығыздығы 0,9033-0,9144 г/см³ мәндер аралығында), жоғары тұтқырлы (20⁰С температурадағы тұтқырлығы 100 МПа·с-тен жоғары), парафинді (2,6-3,8%) және күкіртті (1,21-1,45%). Тығыздығы мен жоғары тұтқырлы болуы құрамындағы асфальт-шайырлы заттардың көп мөлшерде болуымен байланысты (шайырлар 14,5-19,5%, асфальтендер 3,2-5,3%). 300⁰С-қа дейін қайнайтын жеңіл фракциялардың шығымы горизонт бойынша 19,3%-дан 31,2%-ға дейін өзгереді. Кокс шығымы масса бойынша 4-6%, қату температурасы -18⁰С –тан төмен емес.

Қаламқас кен орнының мұнайы, әр түрлі горизонттармен шектелуіне қарамастан, 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 мұнай тығыздығының және басқа параметрлердің жоғарылауы байқалады, сондай-ақ жеңіл қайнайтын фракциялардың шығымы азаяды. Учаскелердің су-мұнай аймақтарында мұнайдың тұтқырлық-тығыздық сипаттамалары нашарлайды. Осылайша, пайда болу тереңдігі артқан сайын, мұнайдың тұтқырлық және тығыздық көрсеткіштері нашарлап, асфальт-шайырлы заттардың мөлшері артады, ал жеңіл фракциялардың шығу кезіндегі көрсеткіші төмендейді.

Қабаттық жағдайға сәйкес, Қаламқас кенорнының мұнайы асфальт-шайырлы заттардың елеулі құрамына және жеңіл фракциялардың төмен шығымына 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 қолдану мүмкіндігін ұсыну мақсатында осы реагенттермен мұнайды ығыстыру бойынша эксперимент жүргізілді. Мұнайды әртүрлі ығыстырушы реагенттермен ығыстыру кезінде үлгінің сумен қанығуы мен ығыстыру тиімділігі анықталды. Зерттеу барысында ерекше назар полимерлер ағынының жылдамдығына және әртүрлі диаметрлі кеуектер арқылы молекулалардың таралуына аударылды. Горизонт бойынша есептелген мұнайдың ағымдағы қасиеттері 2.1– кестеде келтірілген.

Осы эксперименттің негізгі мақсаты - қабаттың мұнай беруін арттыру үшін неғұрлым тиімді полимерді анықтау болды. Полимердің сандық көрсеткіші мұнайбергіштік коэффициентіне әсер ететін полимердің ығысу күштері арқылы анықталатынын айтуға болады. Мұнайды полимер ерітінділерімен ығыстыру тиімділігі көбінесе олардың кеуекті ортада сүзу кезінде көрсететін қасиеттеріне, атап айтқанда, реологиялық сипаттамаларына байланысты. Полимер ерітінділерінің кеуекті ортадағы ерекше мінез-құлқы олардың серпімді-тұтқырлық қасиеттерімен, адсорбциясымен және механикалық полимерді ұсталуымен анықталады. Бұл полимер ерітінділердің реологиялық сипаттамаларының өзгеруіне әсер етіп, кедергі факторы мен қалдық кедергі факторының пайда болуына ықпал етеді. Әрдайым бірдей концентрациядағы жоғары тұтқырлы полимер ерітінділері әрқашан үздік сүзу қасиеттеріне ие бола бермейді. Бұл әртүрлі молекулалық сипаттамаларға ие полимерлердің адсорбция деңгейі мен механикалық ұстау қабілетінің әртүрлі болуымен түсіндіріледі.

Зертханалық жағдайда GL-50 және R-1 маркалы полимерлерге зерттеу жүргізілді. Үлгілер 825 м және 872,55 м тереңдіктен алынып, минералдану дәрежесі 106 г/л болған. Бұл сынамаларда кеуек көлемі мен полимер маркалары әртүрлі болды. Физика-химиялық зерттеулер нәтижесінде ерігіштік пен реологиялық сипаттамаларға сәйкес таңдап алынған полимерлер модельдік керндерде сүзгілік сынақтардан өткізілді.

Бұл сынақтардың негізгі мақсаты - кеуекті ортада полимер ерітінділерінің негізгі технологиялық қасиеттерін салыстырмалы түрде бағалау, зерттелетін реагенттер санын оңтайландыру, жұмыс концентрациясының тиімді диапазонын анықтау, сондай-ақ табиғи керн үлгілері мен қабаттық флюидтерге зерттеу жүргізуге арналған ұсынымдар әзірлеу болды.

Реологиялық зерттеулер автоматтандырылған MCR 702 twin drive реометрінде жүргізілді [68]. Полимерлердің реологиясы мұнай бергіштік коэффициентін арттыруға арналған физика-химиялық көрсеткіштерге үлкен әсер етеді. Бұл көрсеткіштерге: тұтқырлық, серпімділік, адсорбция, деградация жатады. Полимердің тұтқырлығы – мұнай беруді арттыруға әсер ететін ең маңызды реологиялық параметрлердің бірі болып табылады. Полимердің тұтқырлығы сұйықтық ағынына қарсы тұру деңгейін анықтайды. Полимер тұтқырлығы неғұрлым жоғары болса, сұйықтық ағынына кедергі соғұрлым көп болады.

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-I	Ю-II	Ю-III	Ю-IV	Ю-V+VI	Ю-5Ск+ Ю-5Ст	Ю	Ю-VII
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

Сипаттамалық тұтқырлық орташа молекулалық массаны анықтау үшін қолданылады. Ол іс жүзінде оқшауланған полимер молекулаларының ерітінді тұтқырлығына қосқан үлесін сипаттайды, яғни, бұл макромолекулалар арасында өзара әрекеттесу болмаған кездегі тұтқырлық мәнін 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 оның су мен газдың өндіру ұңғымаларына өтуін тежейтін тұтқыр-ұйыған қабықша қалыптастыру қабілетіне әсер етеді.

Полимердің тау жыныс бетінде адсорбциялануы жіңішкеру қабілетіне және мұнай мен судың арасындағы фазааралық кернеулігіне әсер етеді. Полимердің тау жыныс бетіне адсорбциялануы оның гидрофильдік қасиетін гидрофобтық күйіне өтуіне әкелуі мүмкін, бұл өз кезегінде мұнай беру коэффициентінің төмендеуіне себеп болуы ықтимал.

Полимерлердің реологиясы мұнай беруді арттыру үшін қолданылатын физика-химиялық көрсеткіштерге айтарлықтай әсер етеді. Полимердің реологиялық қасиеттерін дұрыс тандау мұнай беруді арттыру әдістерінің тиімділігін жақсартуға мүмкіндік береді.

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

Полимердің деградациясы температураның, қысымның және химиялық заттардың әсерінен оның реологиялық қасиеттері мен физика-химиялық көрсеткіштерінің өзгеруіне себеп болуы мүмкін. Бұл полимердің деградациясы оның тұтқырлығының, серпімділігінің және адсорбциялық қабілетінің төмендеуіне алып келеді.

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		

Полимер реологиясының мұнай беруді арттыру үшін физика – химиялық көрсеткіштерге әсері:

- қабатты мұнаймен қамту процесін жақсарту;
- мұнайды тиімді ығыстыруды қамтамасыз ету;
- су мен газдың қабаты арқылы жылдам қозғалуын шектеу;
- қабаттан алынатын мұнай көлемін арттыру.

Негізгі анықталған технологиялық параметрлерге: сүзу көрсеткіші, кедергі факторы, бастапқы және деструктивті ерітінділер үшін қалдық кедергі факторы және полимердің механикалық деструкция коэффициенттері жатады. Полимер сынамаларын дұрыс алмау немесе талдау кезінде деструкция орын алуы мүмкін екенін есте ұстаған жөн, бұл өз кезегінде тұтқырлықтың өлшенетін мәндерінің бұрмалануына әкелуі мүмкін. Сондықтан ерітінділердің тұтқырлығын өлшеу мұқият ұйымдастырып, сынама дұрыс алу жүйесі тиісті түрде реттелуі қажет. Полимердің механикалық деструкция коэффициенті келесі формула бойынша анықталады:

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

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

Сүзу коэффициентін өлшеу әдетте полимер ерітінділерінің толық ерігіштігін тексеру үшін қолданылады. Бұл әдіс тұрақты қысым жағдайында полимер ерітіндісінің сүзу жылдамдығын бақылауға негізделген.

Сүзгі түрлеріне келетін болсақ, целлюлозалық және поликарбонаттық мембраналық сүзгілерді қолдануға болады. Жүргізілген зерттеулер сүзгілердің екі түрін салыстыру кезінде нәтижелерде айтарлықтай айырмашылықтарын көрсетті. Бұл айырмашылық, кеуек құрылымына және өндіріс технологиясына байланысты. Бұл факторлар көрсеткіштердің тұрақтылығы мен интерпретациясына қатысты қиындықтар туындауы мүмкін. Осы себепті өлшеу нәтижесінің репрезентативтілігін қамтамасыз ету үшін бұл сынақты екі немесе үш рет қайталау қажет, әсіресе көрсеткіш нысаналы мәнге жақын болған жағдайда. Нысаналы сүзгілеу қатынасы коллектордың сипаттамалары мен өткізгіштігіне байланысты реттелуі тиіс.

Эксперименттер барысында температураның, полимер ерітінділері концентрациясының кедергі факторы мен қалдық кедергі факторының өзгеруіне әсері бағаланды, сондай-ақ кеуекті ортадағы полимер ерітінділерінің реологиялық қасиеттері зерттеледі.

Аталған полимерлі ерітінділерінің технологиялық қасиеттері сүзу тәжірибелері кезінде бағаланды. Зерттеулер қарастырылып отырған кен орнының таңдалған учаскесіне сәйкес келетін өткізгіштікке ие үлестік керн үлгілерінде жүргізілді. "GL-50" және "R-1" полимерін дайындауға қолданылатын судың (тауарлық емес судың) физика-химиялық сипаттамалары 2.4 – 2.5 кестесінде көрсетілген.

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

ph	Минералдануы, г/дм ³	Компоненттердің құрамы, мг/дм ³					
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
6.17	106	221.3	109.1	611.79	40	30	35

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

ph	Минералдануы, г/дм ³	Компоненттердің құрамы, мг/дм ³					
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
4.83	106	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 сызықты үлестік керн моделі қабылданды. Ол кварц құмы мен табиғи жыныс қоспасынан тұратын қабат ретінде қалыптастырылды. Керннің өткізгіштігі 500–600 мД тең болып, бұл зерттеліп отырған кен орнының Ю-3С, Ю-4С өнімді қабаттарының (1003, 1001 ұңғыма учаскесі) орташа өткізгіштігіне $K_{орт} = 709 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ жақын болды. Жыныстың үйінді моделінің ұзындығы 17 см, ал диаметрі 2,3 см болатын, тат баспайтын болаттан жасалған кернұстағышқа орналастырылды. Қондырғы сыртқа шығуына жол бермейтін ұстағыш торларымен жабдықталған. Эксперименттік температурасы 20-40⁰С диапазонында орнатылды. Полимер ерітіндісін айдау кезінде сорғы қондырғыларына және ұңғыманың түп маңындағы аймағында механикалық деструкция орын алады. Осыған байланысты сүзу зерттеулері бастапқы және деструктивтіленген полимер

ерітінділерінде жүргізілді. 2.6-кестесінде учаскелерінің көрсеткіштері көрсетілген.

Кесте 2.6 – Кен орнының №1003 және №1001 ұңғымалар учаскелерінде айналатын 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
Минералдануы, г/л	114,369	108,371

Зерттелетін полимер үлгілері кен моделінен белгілі бір жылдамдықпен айналады. Кестеден көрініп тұрғандай, айналатын сулардың құрамындағы екі валентті темірдің концентрациясы 2,0 мг/л-ден төмен. Ал, үш валентті темірдің мөлшері 26 мг/л және 42 мг/л, бұл таңдалған полимерлер ерітінділерінің қасиеттеріне әсер етуі мүмкін. Айналатын суда екі валентті темірдің болуы полимердің тұрақтылығын нашарлатпайды. Үш валентті темірдің әсері тұнбаның түзілуін бағалау үшін зерттелді. Зертханалық зерттеу барысында сарғыш түсті тұнба түзелгені байқалды. Бұл болжам бойынша, гельдер мен ұлпа тәрізді құрылымдардың қоспасы болып табылады, және жаңадан түзелген темір оксидтерінің тұнуы нәтижесінде қалыптасады. Өндірістік жағдайда қоспалардың түрі мен концентрациясына байланысты өзгерістер болуы мүмкін. Алайда, темір оксидтері көп мөлшерде болған жағдайда, олар полимердің әсерінен флокуляцияланады (ірі бөлшектер түзіледі). Осыған байланысты таңдалған полимерлердің айналатын сумен үйлесімділігі бойынша зерттеу жұмыстары жүргізілді. Осы мақсатта 1,5 г/л концентрациясы бар полимер ерітінділері айналатын суға дайындалды. Дайындалған ерітінділер герметикалық жабық ыдыстарға құйылып, 20⁰С және 40⁰С температурада бір апта бойы сақталды. Полимер ерітінділерінің қасиеттерінің өзгеруі визуалды бағалау және тұтқырлықтың өзгеруін бақылау арқылы жүргізілді. Ерітіндінің тұтқырлығы Брукфилда вискозиметрінің көмегімен өлшенді. Бақылау

нәтижелері көрсеткендей, 20⁰С температурада полимер ерітінділері бақылау мерзімі ішінде өз қасиеттерін өзгертпеді. 40⁰С температурада R-1 маркалы полимер ерітіндісінде ешқандай өзгерістер байқалмады, ал GL-50 маркалы полимер ерітіндісінде ақ флокулалар түрінде агрегаттар түзелді, бірақ олар тұнбаға түспей, араластырғанда кезде оңай бұзылды. Сонымен қатар, ерітіндінің тұтқырлығы өзгерген жоқ. Бұл жағдайда темір бөлшектерінің бетіндегі адсорбциялануы және молекулалардың арасындағы механикалық көпірлердің түзілуімен түсіндіріледі. Осылайша, полимерлердің айналатын сумен үйлесімділігіне жүргізілген зерттеулер GL-50 және R-1 маркалы полимер ерітінділерінің кен орнында қолданылатын суларда жеткілікті тұрақтылығын көрсетті. Араластырғанда оңай бұзылатын флокулалардың түзілуі ұңғыманың түп маңындағы аймағында қабаттың бітелуіне алып келмейді.

Флокулалар-бұл полимер мен судың өзара әрекеттесуі нәтижесінде пайда болатын бөлшектердің агрегаттары. Егер флокулалар араластыру кезінде оңай бұзылса, олар қабаттың кеуектерін жауып, өткізгіштігін төмендетуі мүмкін. Полимер ерітінділерінің тұрақтылығы-полимерлі су айдау әдісін сәтті қолданудың маңызды шарты. Егер ерітінділер тұрақсыз болса, олар флокулалар түзіп, келесі кезекте бірнеше мәселелерді қозғауы мүмкін: қабаттың өткізгіштігінің төмендеуі, қысым айырмасының ұлғаюына, мұнай алу коэффициентінің азаюына және темір иондары (Fe^{3+}) бөлшектердің бетіне адсорбцияланып, оң заряд жасайтынын айтуға болады. Полимер ерітінділерінің тұрақтылығы бірқатар факторларға байланысты, соның ішінде: полимер түрі, полимер концентрациясы, судың тұздану деңгейі, температурасы, pH деңгейі, жылдамдықты ескеру сияқты параметрлерге тәуелді екенін көрсетеді.

2.4 Полимерлермен мұнайды ығыстыру экспериментін жүргізу әдістемесі

Мұнайдың ығыстыру коэффициентін анықтау үшін арнайы зерттеулер жүргізілді. Осы мақсатта диаметрі 1 см цилиндр тәрізді керн үлгілері қолданылды. Үлгілерді бұрғылау үшін изопаралар салқындатқыш агент ретінде қолданылды. Керн үлгілері модельдік қабат суы ерітіндісімен қанықтырылды (қабат суының моделі). Модельді қабат суының минералдану деңгейі 143 г/л NaCl деп қабылданды. Үлгілер мен қанықтыруға арналған флюид алдын ала вакуумдалды. Кеукті кеңістіктің толық қанығуы үлгілердің модельдік қабат суымен қанығу кезінде нақты кеуектілік көрсеткішмен салыстыру арқылы анықталды. Әрбір белгілі бір көлеміне тең келетін нақты көлемде үлгілердің сумен қанығу дәрежесі және мұнайды ығыстыру тиімділігі бағаланды. Эксперимент барысында физикалық-химиялық қасиеттері нақты қабаттық флюидіге барынша жақын флюидтер қолданылып, қабат жағдайына ұқсас жақын орта жасалды.

Осы жүргізілген эксперименттің мақсаты – қабаттан көмірсутектерді тиімдірек өндіру үшін неғұрлым тиімді полимерлерді 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

Эксперименттік зерттеулер Core Lab Instruments өндіріп шығарған LXRT-400T қондырғысында жүргізілді. Әрі қарай, үлгі нәтижелерді Дина-Старк аппаратына орналастырып, сумен қанығу дәрежесі анықталып, алынған нәтижелер салыстырылды. Әрбір эксперимент үшін бір үлгі таңдалып, сынақтар бірдей әдістеме бойынша өткізілді. Айырмашылық тек ығыстыру реагенттерінде болды. Арнайы зерттеулер үшін дайындалған үлгілер гамма-сәулелердің өткізетін арнайы кернұстағышқа орналастырылды, мұнда 9,34 МПа қабаттық қысым деңгейінде сақталды. Суды ығыстыру процесі зертханалық жағдайда модельдік қабаттық мұнайды пайдалану арқылы жүзеге асырылды. Бұл процесс жүйе қалдық сумен қанығу деңгейіне жеткенге дейін (бұдан әрі – МҚМ) жалғасты. Керн үлгілерінің сумен қанығу дәрежесі рентгендік сәулесімен сканерлеу арқылы анықталды. Мұнайдың тұтқырлығы 38,1 мПа·с ретінде алынды.

Бастапқы зерттеулер аяқталғаннан кейін, негізгі эксперимент әртүрлі ығыстыру реагенттерін пайдалану арқылы мұнайды ығыстыруға арналды. Әрбір белгілі бір көлеміне еселенген нақты көлемде керннің сумен қанығу дәрежесі және ығыстыру тиімділігі анықталды. Төрт кеуекті көлем айдалғаннан кейін қалдық мұнайға қанығу деңгейіне қол жеткізіліп, ығыстыру коэффициенті анықталды. Одан кейін, үлгі Дина-Старк аппаратына қайта орналастырылып, рентгендік сканерлеу арқылы алынған нәтижелермен салыстыра отырып, сумен қанығу дәрежесі қайта бағаланды. Кернді стандартты зерттеу жұмыстары қабаттың элементтік моделінде жүргізілді. Бұл модель жоғарыда көрсетілген интервалдан алынған, бөлшектелген және экстракцияланған жыныстан құралған, коррозияға төзімді болаттан жасалған керн ұстағыштарға нығыздалған үлгілерден тұрады. Құрылғыда аралық қысым алу нүктесі қарастырылған.

Полимерлі су айдау үшін полимер ерітінділерінің негізгі сүзгілеу сипаттамалары: сүзуге қабілеттілігі, кедергі факторы және қалдық кедергі факторын айта аламыз. Полимер ерітінділерінің сүзу көрсеткішіне зерттеу жүргізілді. Полимер ерітінділерінің сүзілу қабілеті зерттелді, өйткені нашар сүзілетін ерітінділер өндірісте сүзгі саңылауларын бітелуіне және айдау ұңғымаларының түп маңындағы аймағын бітеп, олардың қабылдау қабілетінің төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Сүзілеу қабілетін бағалау бойынша эксперименттері үлестік қабат модельдерінде жүргізіліп, керннің ортаңғы нүктесіндегі қысым параметрлері өлшенді. Барлық эксперименттердегі керн өткізгіштігі 500-600 10⁻¹⁵м² аралығында болды. Полимер ерітіндісі тұрақты шығын жағдайында айдалды.

Нашар сүзгілеу қабілеті керннің кіреберіс бөлігіндегі қысымның тұрақты жоғарылауымен, ал керннің ортаңғы нүктесіндегі қысым өзгерісінің шамалы болуымен сипатталды.

Полимер ерітіндісінің сүзілу қабілеттілігі – бұл оның кеуекті ортаға ену қабілетін сипаттайды. Ол модельдің кіреберіс бөлігіндегі және негізгі ұзындықтағы кедергі факторларын салыстыру арқылы бағаланады. Егер полимер ерітіндісінің сүзілу қабілеттілігі жақсы болса, ол мәндері бір-біріне жақын болады. Кіреберіс аймағындағы жоғары қарсылық факторы оның бітелуін және соның салдарынан, полимер ерітіндісінің нашар сүзілетінін көрсетеді. Полимер ерітіндісінің сүзілу қабілеттілігі алдыңғы бөлімде үлгі керндерінде бағаланды.

Полимер ерітіндісінің кедергі факторы бірнеше көрсеткіштерге тәуелді болып келеді: полимердің концентрациясына, молекулярлық массасына, гидролиз дәрежесіне, жылдамдықтың ығысуына, кеуектің типіне және минерализациясына. Полимер ерітіндісінің кедергі факторы мен қалдық факторын анықтау әдістемесі айдалатын су және полимер ерітіндісінің қозғалу қабілеттерін (кедергі факторын) салыстыруға, сондай-ақ полимер ерітіндісін (қалдық кедергі факторы) айдағанға дейінгі және одан кейінгі судың қозғалу қабілеттерін салыстыруға негізделген.

Полимерлік сынақ жүргізілген керн 1003-ші ұңғымадан Ю-3С және Ю-4С горизонттарынан алынған. Ол сарғылт-сұр және сұр түсті, ұсақ түйіршікті, полимиктикалық құрамды, сазды цементтелген, әлсіз байланысқан, біртекті құмтас түрінде сипатталады.

Кернді зертханалық зерттеулерге дайындау келесі кезеңдерді қамтыды:

- диаметрі 38,1 мм цилиндрлік үлгілерді іріктеу;
- көмірсутектерден, еритін тұздардан және түрлі қоспалардан тазарту мақсатында үлгілерді хлороформ мен метанол қоспасы арқылы термиялық өңдеу;
- үлгілерді 65⁰С температурада тұрақты массаға дейін жеткенше кептіру.

Кернді зерттеудің стандартты әдістемелік кешені құрамындағы тығыздықты, кеуектілікті, газ өткізгіштік қасиеттерін анықтау бойынша зертханалық өлшеулер қарастырылған. Зерттеулер *ultraporeperm* 500 порозиметрінде гелий мен азотты қолдану арқылы жүргізілді. Кеуектілік үлгінің көлемі мен минералды қаңқасының көлемі негізінде Бойль-Мариотт заңын бойынша есептелді. Газ өткізгіштігі тұрақты сүзу әдісімен анықталды және үлгі арқылы ауа ағыны тұрақты ламинарлық режимге жеткен кезде Дарси заңы бойынша есептелді. Сүзу-сыйымдылық қасиеттері кеуекті материалдардың сипаттамаларын және сұйықтықтарды өткізу қабілеттерін толық көрсетеді. Бұл қасиеттер таңдалған кеуекті үлгілердің сұйықтықты сақтау, сүзу, материалдағы сұйықтықтардың қозғалыс бағытын анықтау, көлем бірлігіне шаққандағы бет ауданы мен жарамдылық мерзімін сипаттауға мүмкіндік береді. Таңдалған үлгілердің сүзу-сыйымдылық қасиеттері 2.8-кестеде келтірілген.

Кесте 2.8 – 1003 ұңғымасынан алынған стандартты негізгі зерттеулердің нәтижелері

Сынақтар- ды өткізу уақыты	№	Тереңдігі іріктеу үлгі, м	Литологиялық үлгілердің сипаттамасы	Кеуектілік, бірлік үлесі	Өткізгіш- тік 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

Үлгілерді арнайы зерттеулерге дайындау барысында қадағаланатын қасиеттері көрсетілген. Эксперименттер басталмас бұрын үлгілер минералдану деңгейі 106 г/л болатын қабат суымен қанықтырылды. Үлгілер мен қанықтыруға арналған флюид алдын-ала вакуумдалды. Кеуекті кеңістіктің толық қанығу дәрежесі сумен қанықтырылған үлгілерден алынған кеуектілік пен гелий қолданылған газометриялық әдіспен анықталған кеуектілікті салыстыру арқылы бағаланды. 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.

Қабат суына қанықтырылған үлгілер гамма-сәулелерді өткізетін керн ұстағышқа орналастырылып, онда қабаттық қысым 9,3 МПа деңгейінде жасалды. Содан кейін су қабат модель көмегімен ығыстырылды және қалдық қанығу коэффициенті анықталды.

Керн үлгісінде қалдық қанығу коэффициенті алғаннан кейін, сулануды қалпына келтіру процедурасы орындалды. Әрбір полимерді айдауды қолданғаннан кейін циклінде ығысу коэффициенті мен ығысу тиімділігі анықталды. Сондай-ақ, басқа үлгілерде кедергі факторы мен қалдық кедергі факторын анықтау үшін сынақтар жүргізілді. Ол үшін альбом-сеноман суы үлгі арқылы айдалды, содан кейін полимер ерітіндісінің төрт-кеуекті көлемі енгізілді. Эксперимент су айдау арқылы аяқталды. Әрбір айдау кезеңінде 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.

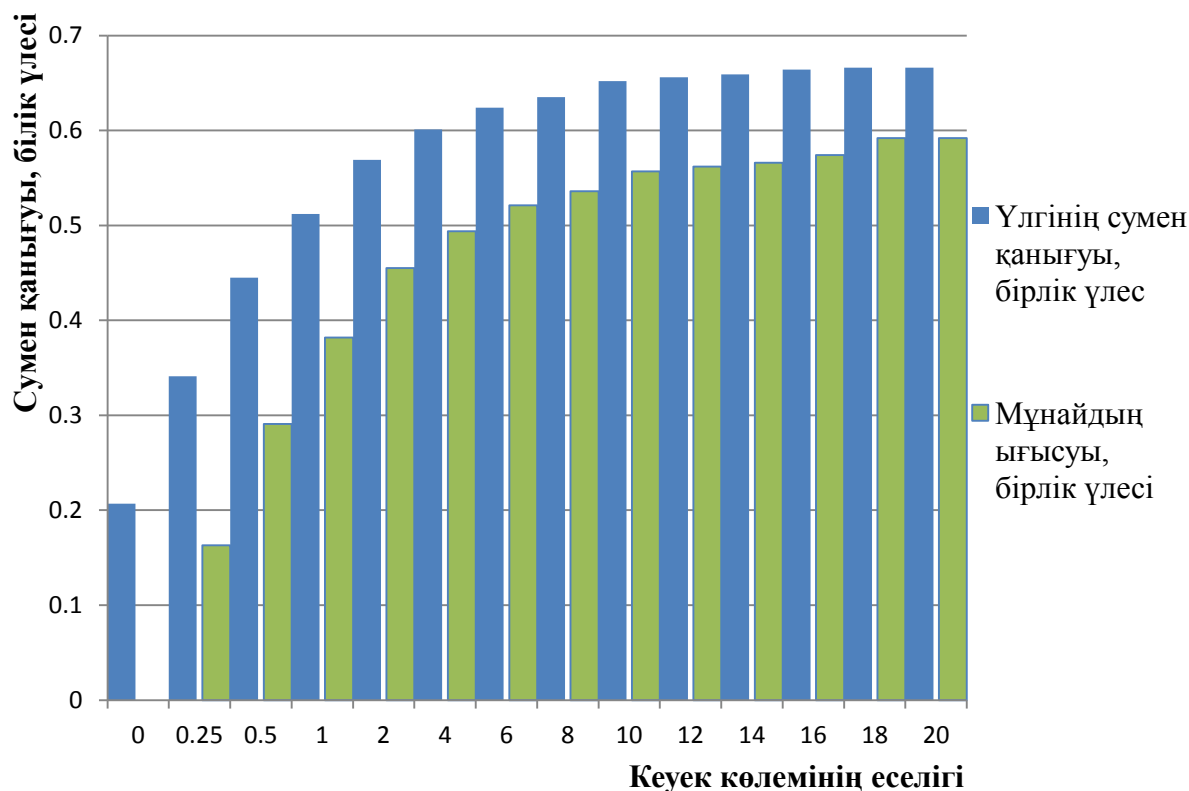
2.5 Полимерлерді айдау эксперименттерінің нәтижелері

GL-50 маркалы полимерді айдау бойынша эксперименттердің нәтижелері 2.1 – 2.3 суреттерінде, 2.9-кестесінде келтірілген. 2.2, 2.5 – суреттерінде мұнайды ығыстыру коэффициентінің динамикасы көрсетілген. Суретте

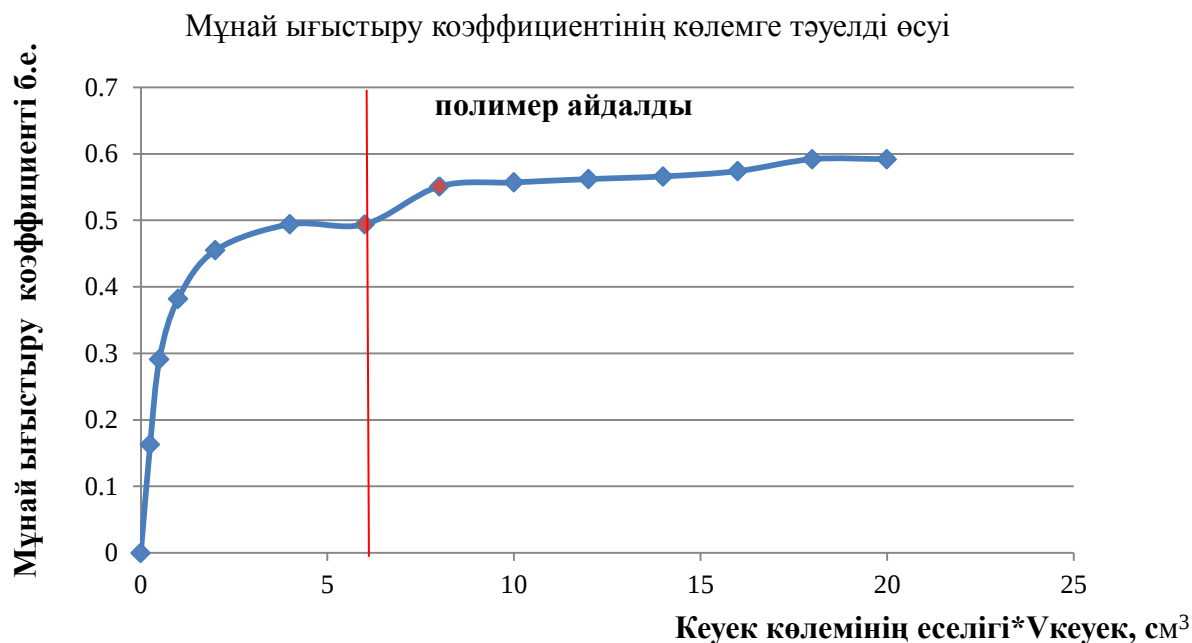
көрсетілгендей, қызыл сызыққа дейін бастапқы айдау сатысындағы көрсеткіштер берілген, ал қызыл сызықтан кейін GL-50 және R-1 маркалы полимерлерді айдау нәтижесінде мұнайды ығыстыру коэффициентінің артқаны байқалады. Бұл полимерлердің мұнайды ығыстыру тиімділігін жоғарылататынын дәлелдейді.

Кесте 2.9 – GL-50 полимерді айдау эксперименттерінің нәтижелері

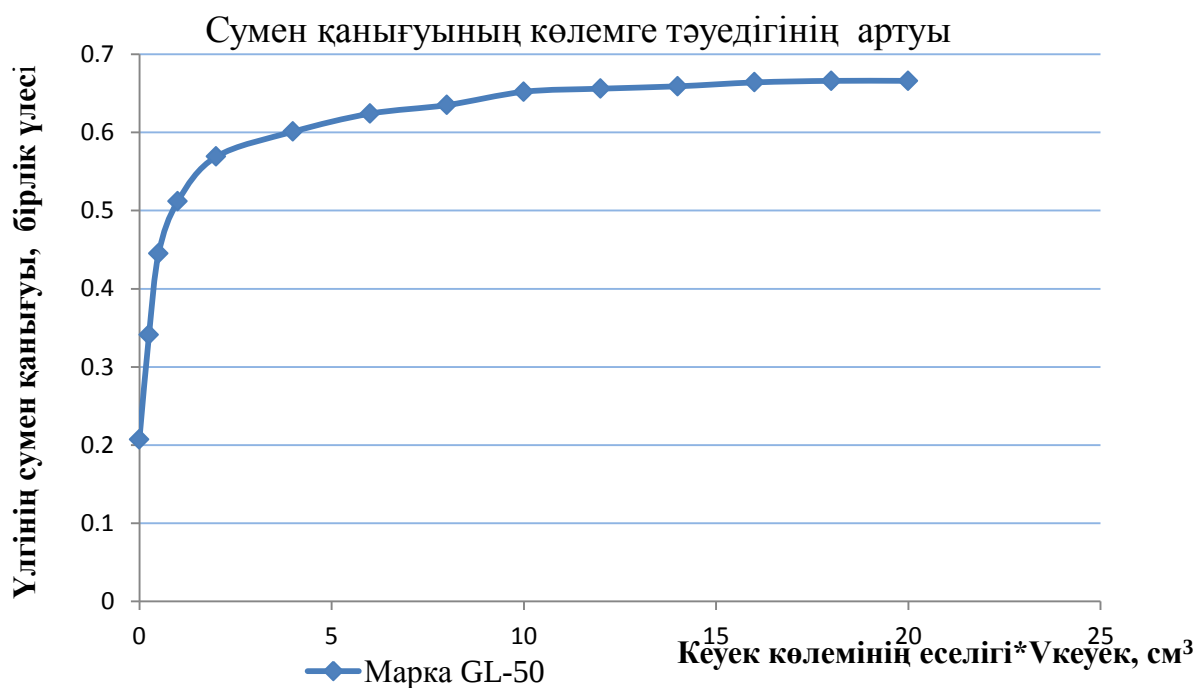
Кеуек көлемінің еселігі	Үлгінің сумен қанығуы, бірлік үлес	Мұнай ығыстыру коэффициенті, бірлік үлесі
0	0.207	0
0.25	0.341	0.163
0.5	0.445	0.291
1	0.512	0.382
2	0.569	0.455
4	0.601	0.494
6	0.624	0.494
8	0.635	0.551
10	0.652	0.557
12	0.656	0.562
14	0.659	0.566
16	0.664	0.574
18	0.666	0.592
20	0.666	0.592



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



Сурет 2.2 – Мұнай ығыстыру коэффициентінің көлемге тәуелділік графигі

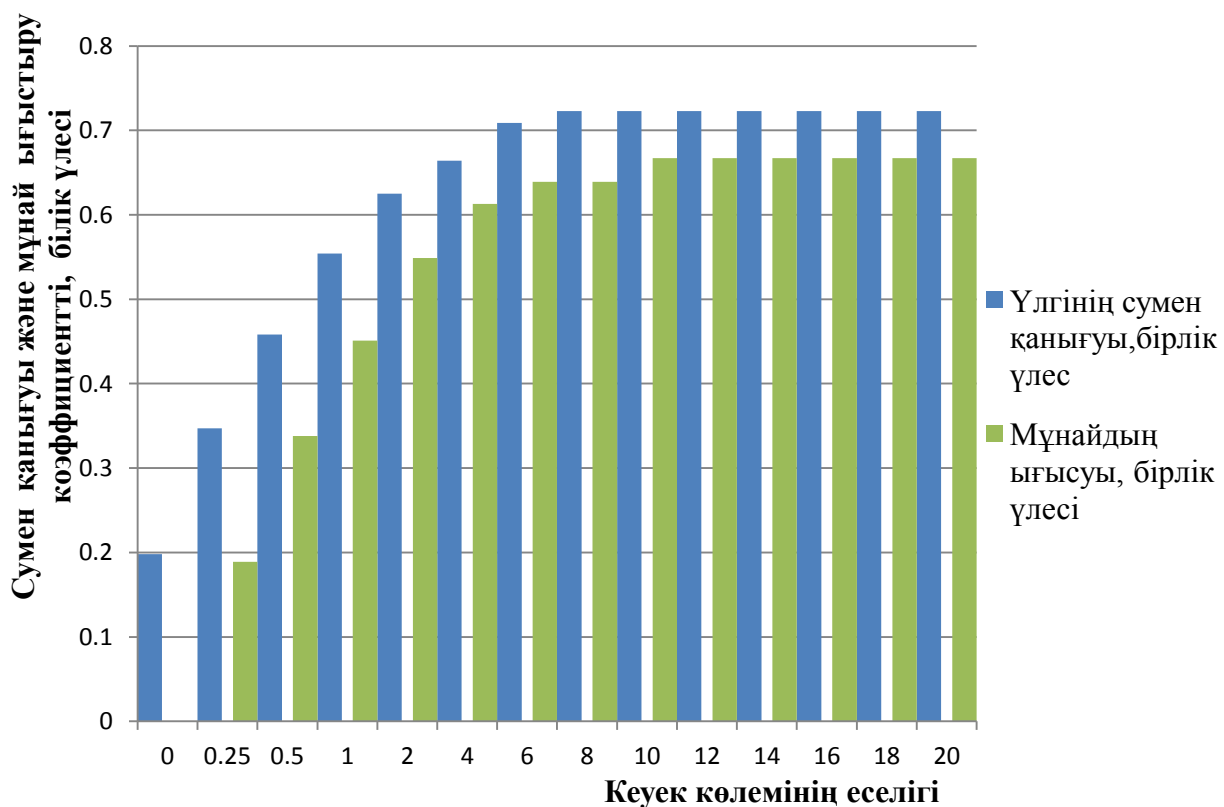


Сурет 2.3 –Сумен қанығудың көлемге тәуелділік графигі

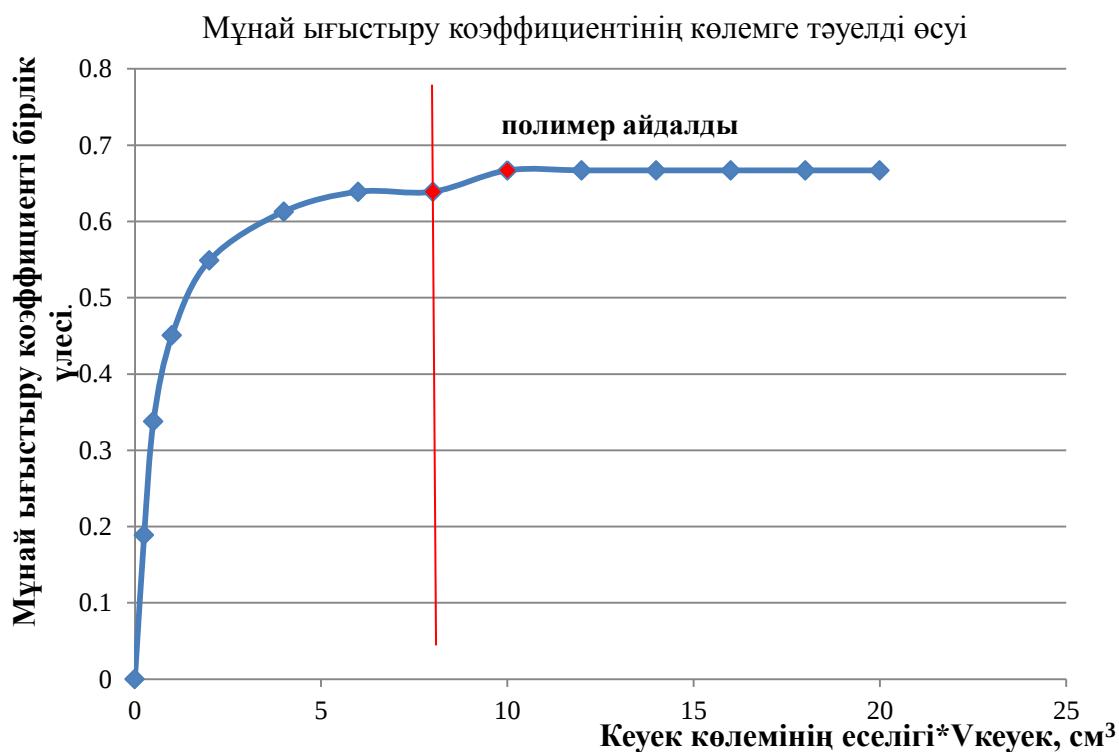
R-1 маркалы полимерді айдау бойынша эксперименттердің нәтижелері 2.4 -2.6 – суреттерде , 2.10-кестесінде келтірілген.

Кесте 2.10 – R-1 полимерді айдау эксперименттерінің нәтижелері

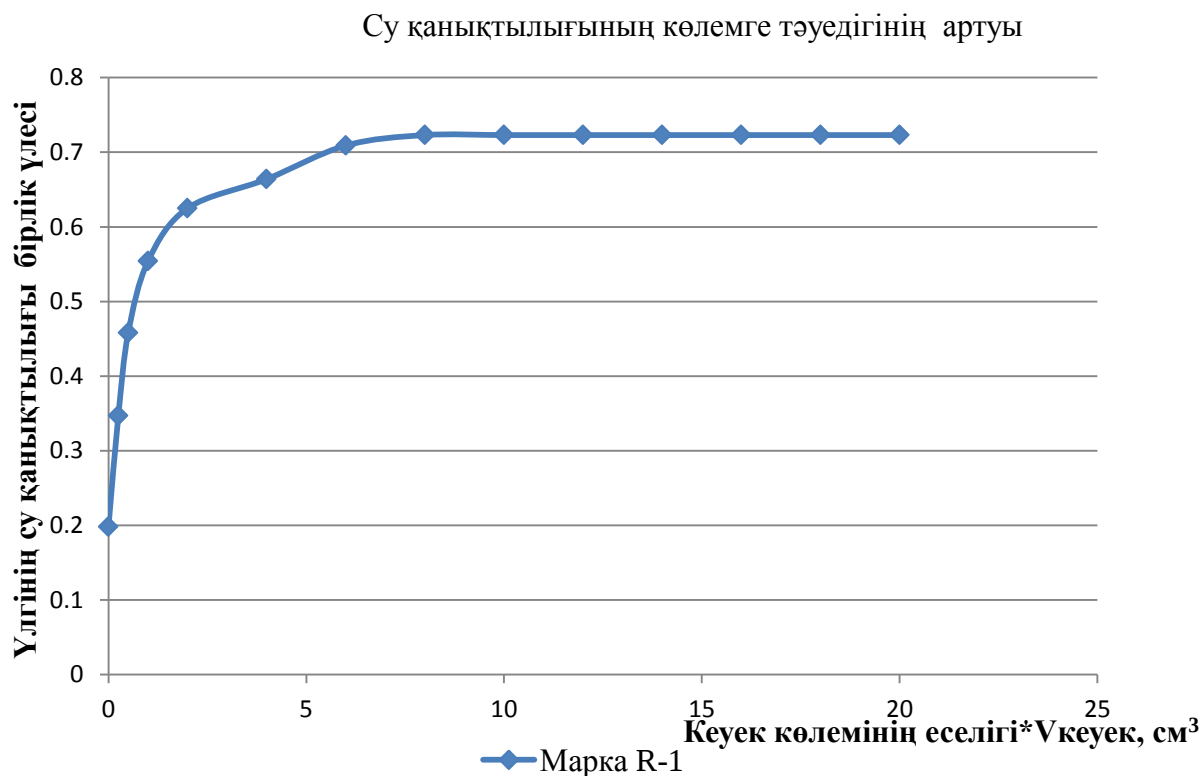
Кеуек көлемінің еселігі	Үлгінің сумен қанығуы, бірлік үлес	Мұнай ығыстыру коэффициенті, бірлік үлесі
0	0.198	0
0.25	0.347	0.189
0.5	0.458	0.338
1	0.554	0.451
2	0.625	0.549
4	0.664	0.613
6	0.709	0.639
8	0.723	0.639
10	0.723	0.667
12	0.723	0.667
14	0.723	0.667
16	0.723	0.667
18	0.723	0.667
20	0.723	0.667



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



Сурет 2.5 – Мұнай ығыстыру коэффициентінің көлемге тәуелділік графигі

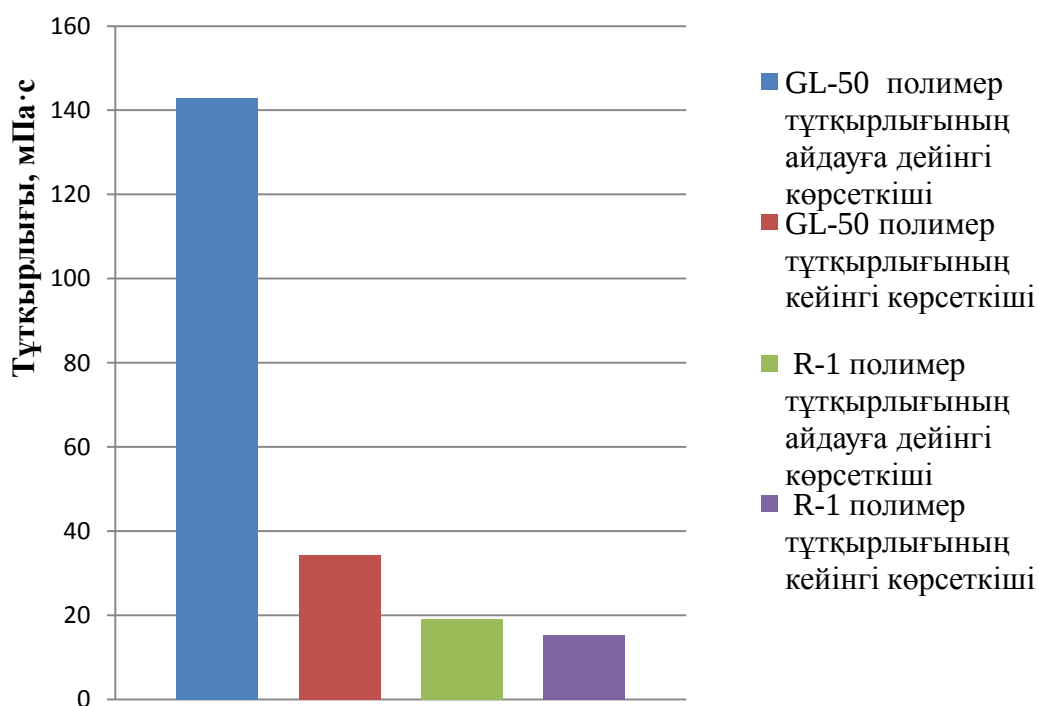


Сурет 2.6 – Судың қанықтылығының көлемге тәуелділік графигі

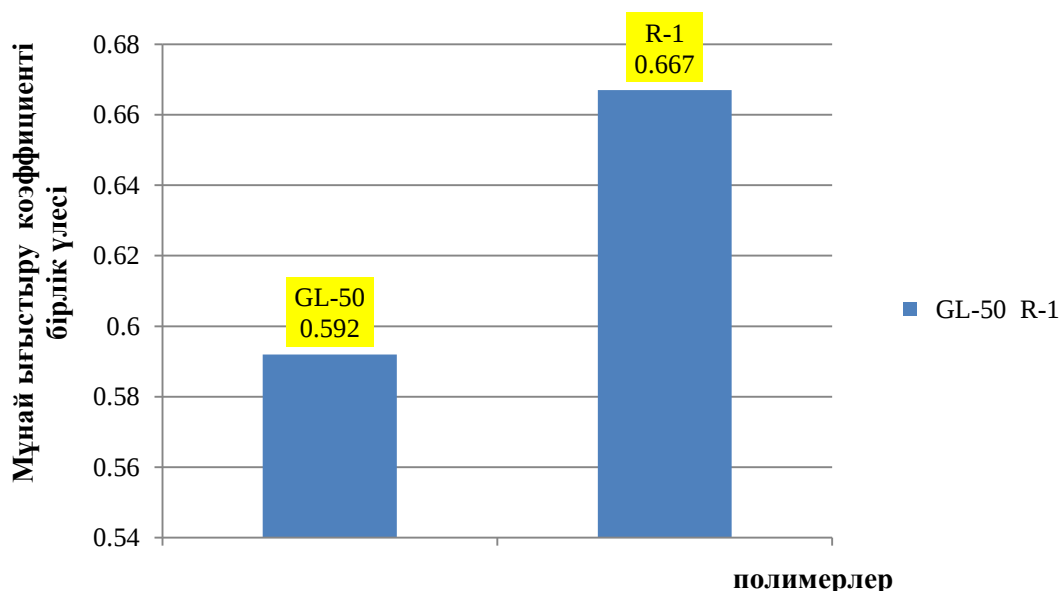
Қабатқа айдалатын полимерлерді зерттеу нәтижелері 2.11 – кестеде көрсетілген.

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 бойынша өткізгіштік, 10 ⁻³ мкм ²	1040	1200
Гелий бойынша кеуектілік, бірлік үлесі	0,352	0,38
Бастапқы мұнай қанығуы, бірлік үлесі	0,78	0,791
Айдау алдындағы полимердің тұтқырлығы, мПа·с	143	19
Айдаудан кейінгі полимердің тұтқырлығы, мПа·с	34,2	15,2



Сурет 2.7 – Полимерлерді айдауға дейінгі және айдаудан кейінгі тұтқырлық көрсеткіштерінің өзгеруі



Сурет 2.8 – Мұнай ығыстыру көрсеткіштерін салыстыру

2.7, 2.8 – суреттерінде мұнайдың тұтқырлық көрсеткіштері және мұнай ығыстыру мәндері көрсетілген. Алынған нәтижелерге сүйене отырып, полимер маркаларының тиімділік дәрежесін, гидролиз деңгейін және иондардың болуын анықтауда маңызды рөл атқаратынын айтуға болады [66].

GL-50 маркалы полимер жоғары тұтқырлық қасиеті мен жылуға төзімділігі зерттелген концентрацияларында суды қоюлату үшін тиімді нәтиже береді. Алайда, минералданған суда нашар ериді, ерітіндіде ерімеген ұсақ қара 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. Осыған байланысты, су температурасының өзгеруі, арнайы қоспалар қосу және судың pH деңгейінің өзгеруі сияқты факторлар ескерлуі қажет.

R-1 маркалы полимердің келесі түрі жеке күйінде, әрі агенттермен қос байланыс ретінде де қолданылады. "SNF" компаниясының нарықта жақсы танылған бұл R-1" маркалы полимері қабаттың қамтылу аймағын ұлғайтып, мұнайды ығыстыру тиімділігін арттырады. Бұл полимер өнімінің сулануын төмендетіп, жоғары молекулалық масса мен орташа тығыздықтағы аниондық заряд деңгейін қамтамасыз етеді. Полимердің реологиялық сипаттамалары жоғары, термиялық деструкцияға төзімді, минералданған суда жақсы ериді, ал ерімейтін тұнба мөлшері техникалық талапқа сәйкес келеді. Сонымен қатар, суда екі валентті катиондардың жеткілікті мөлшерде (кальций мен магний) болған жағдайда тиімді жұмыс істейді, ығысуға төзімді, уыттылығы төмен және экономикалық тұрғыдан тиімді. Алайда, екі валентті катиондардың (кальций мен магний) концентрациясы неғұрлым жоғары болса, полимердің тұнбаға түсуі ықтималдығы артады, бұл өз кезегінде тұтқырлықтың төмендеуіне әкеледі. Екі валентті катиондар полимермен комплекстер түзе алады, бұл оның

суда ерігіштігінің төмендеуіне алып келеді. Нәтижесінде полимер ерітіндіден тұнбаға түсуі мүмкін, бұл тұтқырлықтың төмендеуіне әкеледі. Полимердің тұнбаға түсуі екі валентті катиондардың белгілі бір критикалық концентрациясына жеткенде пайда болуы мүмкін. Бұл концентрация полимер түріне, температураға және басқа факторларға байланысты.

Полимердің тұнбаға түсуін болдырмау үшін әртүрлі әдістерді қолдануға болады. Мысалы, екі валентті катиондарды байланыстырып, олардың полимермен әрекеттесуіне жол бермейтін комплекс түзгіштерді қолдану, ерітінді температурасын өзгерту, сондай-ақ полимердің суда ерігіштігін жақсартатын арнайы қоспаларды енгізу. Кейбір жағдайларда полимерді толығымен ауыстыру қажет болуы мүмкін. Осылайша, екі валентті катиондардың полимердің ерігіштігіне әсерін ескеру және оның тұнбаға түсуінің алдын алу үшін тиісті шаралар қабылдау маңызды болып табылады.

2-бөлім бойынша қорытынды

Қорытындылай келе, мұнайдың реологиялық қасиеттеріне әсер етіп, мұнайбергіштік коэффициентін арттыруға бағытталған судағы ерітін 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 ығыстыру коэффициенттерін анықтау нәтижелері алынды. Полимерлерді сынау нәтижелері бойынша R-1 маркалы полимерді пайдалану арқылы мұнай ығыстыру коэффициенті 0,667, ал GL-50 маркасы үшін – 0,592 тең мәндерді көрсетті. Полимерлерді айдаудың бастапқы кезеңдеріндегі мұнай ығыстыру коэффициентінің салыстыру кезінде R-1 полимеріндегі ығысу динамикасы GL-50-ге қарағанда жоғары екенін көрсетті. Бұл дегеніміз, R-1 маркалы полимерді пайдаланған кезде сыналатын үлгінің көлденең қимасының бүкіл аумағында мұнай ығыстыру 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 процесінің тиімділігіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. Осы зертханалық зерттеулер негізінде Қазақстанның Қаламқас кен орындарында R-1 маркалы полимерді айдау ұсынылады.

3 ЖОҒАРЫ ТҮТҚЫРЛЫ МҰНАЙДЫ БІРТЕКТІ ЕМЕС ҚАБАТТАРҒА ПОЛИМЕРЛІК ӘСЕР ЕТУ ЗЕРТТЕУЛЕРІНІҢ 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 қабатта айтарлықтай мөлшерде мұнай көлемі қалып қояды. Оны толықтай игеру үшін мұнайға қаныққан қабатқа жаңа әсер ету әдістерін қолдану қажет. Көп жағдайда мұнай кен орындары біртекті емес құрылымдардан тұрады. Бұл олардың жоғары қалдық мұнай мен қанығуын көрсетеді. Сондықтан бұл қабаттардан мұнай өндіруді қарқындату қажеттілігі туындайды. Эксперименттік зерттеулер үшін белгілі бір фракциядағы кварц құмымен толтырылған екі металл құбырдан тұратын модель пайдаланылды. Бұл модель әртүрлі өткізгіштікке ие қабаттарды жасауға мүмкіндік береді. Осы біртекті емес қатпарлы қабаттың моделінде мұнай өндіруді қарқындатудың ұсынылған тәсілі зерттелді. Бұл жағдайда, біртекті емес қатпарлы қабаттың мұнайбергіштігін арттыру үшін полимер ерітіндісінің жиегін айдау ұсынылды. Алдымен, эксперименттің бастапқы кезеңінде өткізгіштігі әртүрлі ($K = K_1/K_2$) біртекті емес қатпарлы қабатта дәстүрлі су айдау процесі жүргізілді. Одан кейін жоғары өткізгішті қабатқа полиакриламид ерітіндісінің жиегі айдалды. Полимер жиегі дистилденген сумен ығыстырылды. Сондай-ақ төмен өткізгішті қабаттан мұнайды ығыстыру үшін де дистилденген су қолданылды. Дистилденген суды қолдану тәжірибе тазалығын сақтау мақсатында таңдалды, себебі ол полиакриламид ерітіндісінің (ПАА) қасиеттеріне айтарлықтай әсер етпейді. Алайда, жүргізілген зерттеулер айтарлықтай нәтиже бермеді. Осыған байланысты, жүргізілген әдеби шолуға сүйене отырып, жоғары тұтқырлы мұнайды қамтитын біртекті емес қатпарлы қабатты игеру үшін жаңа кешенді әдіс ұсынылды. Бұл кешенді әдіс электрохимиялық модификацияланған суды және полимер ерітіндісін қолдануға негізделген. Суды электролиздеу барысында екі түрлі су түзіледі: католит - сілтілік қасиеттерге ие, яғни су-мұнай шекарасындағы беттік керілуді төмендете алады; және анолит-қышқылдық қасиеттерге ие. Жұмыс барысында католитті қолдану қарастырылды. Кешенді әдіс келесі ретпен жүзеге асырылады: алдымен біртекті емес қатпарлы қабаттан мұнайды ығыстыру дистилденген су айдау арқылы орындалады. Бұл тәсіл мұнай және су қанығуы әртүрлі сарқылған қабаттарды модельдеуге мүмкіндік береді. Содан кейін жоғары өткізгішті қабатқа белгілі pH көрсеткішімен католитте дайындалған полимер ерітіндісінің жиегі айдалады. Полимердің ерітіндісінің жиегінің қозғалысы мен төмен өткізгішті қабаттан мұнайды ығыстыру сол pH деңгейіндегі католит айдау арқылы жүзеге асырылды. Бұл әдіс біртекті емес қабатқа әсер етіп, мұнай-су шекарасындағы беттік керілуді төмендетеді, жоғары өткізгіш қабаттағы судың кірісін шектеуге және төмен өткізгіш

қабаттағы мұнай ығыстыру жылдамдығын арттырады. Нәтижесінде біртекті емес қатпарлы қабаттың мұнай бергіштігін арттыруға ықпал етеді.

Мұнай және мұнай өнімдеріне деген сұраныс жылдан жылға артып келеді, бұл әсіресе экономикасы қарқынды дамып келе жатқан елдерде байқалады. Қазіргі таңда көптеген мұнай кен орындары табиғи режимде немесе су айдау әдісі арқылы игерілген. Бұл жағдай өндіруге қиын, жоғары тұтқырлы мұнай қорларының үлесінің толық қамтылмауына себеп болды. Сарапшылардың болжамы бойынша, мұнай қорларының үлесі жалпы қорының 50-70%-ын құрауы мүмкін. Екінші жағынан, жаңа ірі мұнай кен орындарының ашылуы айтарлықтай көп емес. Осыған байланысты, тұрақты энергиямен қамтамасыз ету үшін сарқылған мұнай кен орындарын игеру мәселесі өзекті болып табылады. Қабаттардың мұнай шығымы төмен болуы олардың төмен өткізгіштігіне, біртекті емес жоғары деңгейіне және мұнайдың жоғары тұтқырлығына байланысты. Нәтижесінде өндіруші ұңғымалардың алдын ала сулану процесі ерте басталып, игеруге қосылмаған мұнайға қаныққан аймақтардың көбеюіне әкеледі [69–71].

Полимерлі су айдау әдісі қазіргі таңда мұнай өндіруде кеңінен қолданылатын технологиялардың бірі болып табылады. Бүгінгі күні әлем бойынша 50-ден астам мұнай кен орындарында полимерлі су айдау технологиясы енгізілген. Бұл әдіс Еуропада, Солтүстік Америкада, Таяу Шығыста және т.б. аймақтарда жүзеге асырылған. Полимерлі су айдау – қабаттың су және мұнаймен қамтылу аймағын кеңейтіп, судың қозғалғыштығын төмендету арқылы ығыстыру фронтын теңестіруге және мұнайбергіштік коэффициентін арттыруға бағытталған. Бұл процесс, негізінен, ағынды ауытқушы технология ретінде сипатталады. GL-50, R-1, POLY-T-101, Поликар, Алкофлад, MD-02,05,07 сияқты полимерлердің әртүрлі маркалары қарастырылған. Бұл полимердің әрқайсысы нақты кен орны жағдайларына (температура, тұтқырлық, минералдану деңгейі) сәйкес таңдалады [72,73]. Көптеген жұмыстарда судың минералдану дәрежесі, ығыстыру жылдамдығы мен температураның полимер қасиеттеріне әсері жан-жақты сипатталған [74–76]. Полимерлердің мұнай өндірудегі тиімділігі олардың келесі қасиеттерімен түсіндіріледі: жоғары тұтқырлық, тиксотроптылық, псевдопластикалық қасиеттер. Полимерлер су жүйелерінің реологиялық қасиеттерін өзгертіп, түрлі тығыздықтағы гелдер түзуге қабілетті [77]. Соған қарамастан, кейбір зерттеулерде полимерлі су айдау технологиясының кен орындарын игерудің соңғы сатысында тиімділігі төмен болатыны көрсетілген [78]. Жоғарыда келтірілген қысқаша әдебиеттерді шолудан полимер негізіндегі композицияларды қолдану, әсіресе жоғары тұтқырлы мұнаймен жұмыс істегенде, қабаттан мұнайды тиімді ығыстыруға мүмкіндік беретіні анықталады.

Осыған сүйене отырып, жоғары тұтқырлы мұнайды қамтитын сарқылған біртекті емес қатпарлы қабаттан мұнай өндіруді қарқындату мақсатында полиакриламид ерітіндісін қолданудың тиімділігін бағалау туралы шешім қабылданды. Ұсынылып отырған тәсіл - су айдаумен қатар, жоғары өткізгіш

кабатқа ПАА ерітіндісінің жиегін айдау және соңынан электрохимиялық модификацияланған сумен (католитпен) мұнайды ығыстыру. Бұл сызба біртекті емес қатпарлы құрылымда мұнайды тиімді ығыстыру мақсатында қарастырылып отыр. Электрохимиялық белсендірілген су ұғымын алғаш рет 1972 жылы В.М.Бахирмен тұжырымдалған. Бұл жұмыста белсендірілген суды және оны технологиялық мақсатта пайдалану мүмкіндіктері талданды.

Жоғары температура жағдайында полиакриламид қолданылған кезде акриламидтің гидролизі жүреді, нәтижесінде акрилаттар түзіліп, молекулалық тізбектегі теріс зарядтардың үлесі артады. Егер ерітіндіде екі валентті катиондар болмаса, молекулааралық электростатикалық тебілу күшейіп, полимер ерітіндісінің тұтқырлығы артады. Ал екі валентті катиондар болған жағдайда скринингтік әсер байқалып, полимердің тұнуына және тұтқырлықтың төмендеуіне себеп болуы мүмкін. Демек, гидролизденген полиакриламидтердің тұтқырлығын арттыру қабілеті молекулалар арасындағы сондай-ақ полимер молекулалары арасындағы ішкі және молекулааралық электростатикалық өзара әсер мен құрылымдық байланыс дәрежесіне тәуелді.

Электрохимиялық модификацияланған судың (католит) мұнай өндіруді арттырудағы ықпал келесі механизмдер арқылы іске асады:

- Қабат суының қасиеттерін жақсарту: католиттің жоғары рН деңгейі мен белсенді радикалдары қабат суының физика-химиялық қасиеттерін өзгертеді, соның ішінде беттік керілуін төмендетіп, кеуекті ортаға өтімділігін арттырады.

- Мұнайдың тұтқырлығын төмендету: католит құрамындағы белсенді бөлшектер мұнай компоненттерімен әрекеттесіп, оның тұтқырлығын азайтып, бұл қабат ішіндегі ағымын жеңілдетеді;

- Тау жыныстарының қасиеттерін өзгерту: католит кейбір минералдарды еріту арқылы кеуектілікті және өткізгіштігін арттырып, мұнайды ығыстыруға қолайлы жағдай жасайды;

- Адсорбциясыны төмендету: мұнайдың тау жыныстарының бетіне адсорбциясын азайтып, оның ығысуын жеңілдетеді;

- Сумен сулануын жақсарту: католит тау жыныстарының сумен сулануын жақсартып, мұнайбергіштік коэффициентін жоғарылатады;

- Тұнба түзілуін алдын алу: католит қабатта ішінде тұнбалардың түзілуін тежеп, ағын арналарын ашық ұстайды;

- Температура мен қысым әсері: католит қабат ішіндегі температураны және қысымды арттырып, мұнайдың тұтқырлығын төмендетуге ықпал етеді;

- Беттік және фазалық әсерлер: католит мұнай мен су арасындағы беттік керілуін төмендетіп, фазалар арасындағы массалық алмасуды жақсартады.

Электрмен белсендірілген су диафрагмалық электрохимиялық реакторда катодты және анодты камералар арқылы алынатын судың немесе минералды тұздардың сұйылтылған ерітінділерін өңдеу нәтижесінде түзіледі. Электрохимиялық белсендіру процесінде су метатұрақты күйге өтеді. Бұл күй тотығу-тотықсыздану потенциалының өзгеруімен және электрондық белсенділік секілді физика-химиялық параметрлердің өзгерісімен сипатталады. Католит пен анолиттің реактивтілігі мен тұрақтылық уақыты – активтендіру

уақыты деп аталады. Бұл уақыт – белсенді судың қасиеттері бастапқы қалпына оралғанға дейінгі аралықты білдіреді [79]. Электрохимиялық модификацияланған судың негізгі қасиеттері және оны зертханалық жағдайда алу әдістері жан-жақты [80, 81] қарастырылған.

Ал [82] еңбегінде электрохимиялық модификацияланған суды алуға арналған қондырғы сипатталған. Бұл құрылғыда электр тогының әсерінен судың электролизі жүзеге асады. Процесс барысында оң зарядталған иондар (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+}) катодқа тартылып, сілтілі орта – католит түзіледі. Ал анод аймағында теріс иондар (C^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-}) мен сутегі иондары жиналып, қышқыл орта – анолит пайда болады. Екі валентті темір мен сульфиді иондары полимерлердің тотығу арқылы ыдырау жылдамдығын арттырады. Сульфид иондары тотықтырғыш ретінде әрекет етеді, ал екі валентті темір тотығу-тотықсыздану реакцияларына қатысады. Екінші жағынан, үш валентті темір гидролизденген полиакриламидтер молекуларымен кешендер түзеді. Бұл кешендер полимердің тұтқырлығын арттыруға немесе оның физика-химиялық қасиеттерінің өзгеруіне ықпал етеді.

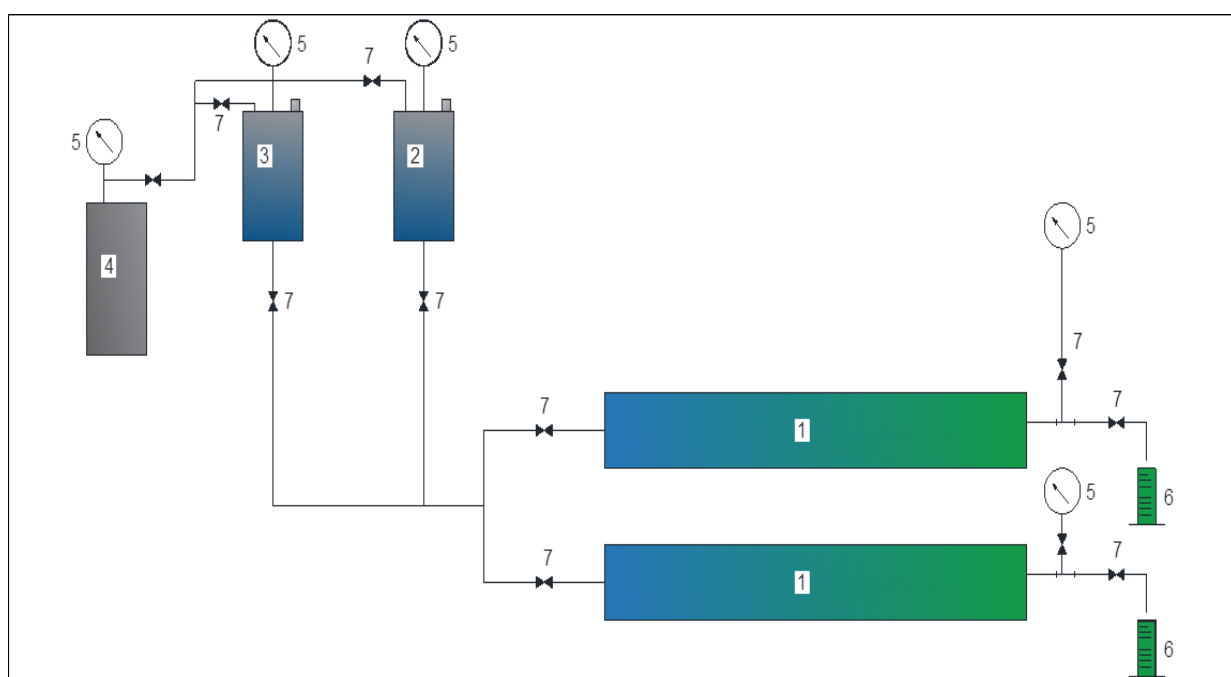
Осылайша, анодтың айналасында қышқыл орта (анолит) қалыптасады [83]. Әрі қарай, зерттеу барысында католиттің рН мәнінің кернеуге тәуелділігі және оның қасиеттерінің сақталу уақыты анықталған. Сонымен қатар, католиттің кеуекті ортаның өткізгіштігіне әсері зерттелді. Уақыт өте келе, сілтілік иондардың бір бөлігі кеуекті ортада тұнбаға түсіп, өткізгіштің төмендеуіне себеп болады. Жалпы, бұл қысқаша шолу полимерді айдау немесе электрохимиялық модификацияланған суды пайдалану арқылы қабаттан мұнай өндіруді арттыруда полимерлі айдау мен электрохимиялық модификацияланған суды қолдану мүмкіндігін көрсетті. Әр әдістің артықшылықтары да, кемшіліктері де бар. Сондықтан, олардың тиімді жақтарын біріктіріп, мұнай қабаттан ығыстыру үшін полимерлі ерітінді мен католитті бірлестіріп қолданылатын кешенді әдісті пайдалану ұсынылды.

Мұнай өндіруді қарқындатуға бағытталған аралас технологиялардың тиімділігі олардың мүмкіндіктері мен шектеулеріне байланысты. Тиімді технологияны дұрыс таңдау барысында келесі факторлар ескерілуі тиіс: кенорын құрылымының геологиялық құрылысы, қабаттың литологиялық-физикалық және сүзу қасиеттері, қабаттың біртекті емес болғаны, қанықтырушы сұйықтық қабаттарының қасиеттері, қолданылатын игеру жүйесі және техникалық жабдықтармен қамтамасыз етілу деңгейі. Бағалау нәтижелері бойынша мұнайбергіштік коэффициенті 5–тен 25% аралығында ұлғаюы мүмкін. Әрбір нақты кен орны үшін электрохимиялық модификацияланған су негізінде белгілі бір технологияны немесе бірнеше энергия үнемдейтін әдістердің үйлесімін таңдау қажет.

Қабаттың біртекті моделіне негізделген зертханалық қондырғылар мұнайды ығыстыру процесін жалпы бағалауға және әсер ету нәтижелерін саралауға мүмкіндік береді. Алайда нақты кен орындарында тау жыныстары кеңістікте және қалыңдық бойынша біртекті емес құрылымға ие. Сондықтан зерттеулер қабаттардың біртекті емес моделінде жүргізілуі тиіс. Табиғи

жағдайда тау жыныстарының өткізгіштігі қалыңдығы жағынан да, кеңеюі жағынан да әр түрлі өзгереді. Мұндай модельдер нақты геологиялық жағдайды толық бейнелей алмаса да, ең жиі кездесетін ерекшелік – қабаттылықты дәл көрсетуге мүмкіндік береді. Қабаттылық – бұл әртүрлі өткізгіштікке ие, гидродинамикалық тұрғыдан байланысқан немесе бөлінген қабаттардың тобы. Зертханалық жағдайда өткізгіштігі бойынша айырмашылықтары бар қабаттарды модельдеу – кең таралған тәсіл.

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.



1– қабат моделі; 2 – сұйықтықты қысу (су, химреагент ерітіндісі); 3 – мұнайды қысу; 4 – ауа цилиндры; 5 – манометрлер; 6 – өлшемді цилиндрлер; 7 – клапандар.

Сурет 3.1 – Қондырғы сұлбасы

Ұқсастық критерий формуласы бойынша келесі есептеулерді қолданамыз:

$$\Pi_1 = \frac{L}{\sqrt{k_2}} \quad \text{және} \quad \Pi_2 = \frac{\sigma \cdot \cos \theta}{\Delta P \cdot \sqrt{\frac{k_2 \cdot \varphi}{m_2}}} \quad (3.1)$$

мұндағы, L – қабаттың ұзындығы, м; k_2 – өткізгіштігі төмен қабаттың өткізгіштігі, мкм^2 ; σ – мұнай – су шекарасындағы беттік керілу, мН/м ; θ – ылғалдандырудың шеткі бұрышы; ΔP – қабаттағы қысымның төмендеуі, МПа;

ϕ – құрылымдық коэффициент; m_2 – өткізгіштігі төмен қабаттың кеуектілігі, бірлік үлесі.

Осылайша, P_1 кеуекті ортаның құрылымын анықтайды, ал P_2 – гидродинамикалық күштердің кеуектердегі фазалардың таралуына әсерін көрсетеді. Автомоделділікті сақтау үшін осы ұқсастық критерийлері келесі шарттарды қанағаттандыруы қажет: $P_1 \geq 0,5 \cdot 10^6$ және $P_2 \leq 0,6$. Автомоделділікті қамтамасыз ету үшін осы ұқсастық критерийлері келесі шарттарды қанағаттандыруы қажет. Есептеулер көрсеткендей, қабат моделінің өлшемдері мен эксперименттер жүргізу әдістемесі осы шарттарды қанағаттандырады: $P_1 = 0,75 \cdot 10^6 > 0,5 \cdot 10^6$; $P_2 = 0,33 < 0,6$.

Бұл шарттар модель мен кеуекті ортаның құрылымдық сәйкестігін қамтамасыз етеді және гидродинамикалық күштердің фазалардың таралуына әсерін ескеруге мүмкіндік береді. Модель кеуекті ортаның негізгі сипаттамаларын дұрыс бейнелеп, ондағы жүретін физикалық процестерді дәл және сенімді сипаттай алады. Ұқсастық критерийлерінің орындалуы модельдің шынайы қабат жағдайларына сәйкестігін дәлелдейді, бұл процестерді нақты болжауға және ғылыми-тәжірибелік міндеттерді тиімді шешуге жол ашады. Кеуекті орта ретінде кварц құмы мен маршалит қоспасы пайдаланылды. Қоспаның өткізгіштік қасиетін бағалау оның абсолютті өткізгіштігінің маршалит мөлшеріне тәуелділігі анықталды. Бұл зерттеу қажетті фильтрациялық сипаттамаларды қамтамасыз ету үшін маңызды. Маршалит мөлшері жоғарылаған сайын қоспаның өткізгіштігі төмендейді. Себебі, маршалиттің кварц құмына қарағанда өткізгіштігі төмен болуымен және оның құм түйіршіктері арасындағы кеуектерді жауып, сұйықтық өту жолдарын шектеуімен түсіндіріледі.

Абсолютті өткізгіштік – бұл кеуекті ортаның белгілі бір физикалық жағдайларда сұйықтықтар мен газдарды өткізу қабілетін сипаттайтын маңызды параметр. Осы көрсеткішті анықтау мақсатында әртүрлі мөлшердегі маршалитпен дайындалған қоспаларға зертханалық жағдайда тәжірибелер жүргізіліп, олардың өткізгіштік мәндері өлшенді. Алынған нәтижелер негізінде абсолютті өткізгіштіктің маршалит үлесіне тәуелділік графигі құрастырылды.

Осы тәсіл кварц құмы мен маршалиттің оңтайлы арақатынасын анықтауға және қажетті фильтрациялық қасиеттерге ие кеуекті ортаны таңдауға мүмкіндік береді. Мұндай талдау кеуекті ортаның полимерлік айдау процестерінің тиімділігін арттыру үшін қолайлы орта қалыптастыруға негіз болады.

Қажетті өткізгіштікке қол жеткізу мақсатында кварц құмы мен маршалит қоспасының оңтайлы пропорциясы таңдалды. Бұл үшін маршалит мөлшерінің абсолютті өткізгіштікке әсері зерттелді. Алдын ала жүргізілген тәжірибелерде 0,125-0,25 мм фракциялы кварц құмы бар маршалит қоспасының абсолютті өткізгіштігі анықталды. Осылай дайындалған қоспа қабат моделіне салынды. Қоспаны біркелкі орналастырылғаннан кейін модель жабылып, басқару жүйесіне қосылды. Бастапқы кезеңде барлық эксперименттер ауаны пайдалана отырып, қабат моделінің абсолютті өткізгіштігін анықтауға бағытталды (сыналды). Осы мақсатта қабат моделінің кірісі ауа балонына, ал шығуы газ

есептегішіне жалғанды. Әр тәжірибеде модельге түрлі қысымында (0,2; 0,4 және 0,6 МПа) ауа айдалды. Дарси формуласы бойынша осы қысым мәндеріне сәйкес ауаның абсолютті өткізгіштігі есептеліп, алынған нәтижелерінің орташа мәні анықталды. Содан кейін, қабат моделінің шығысы вакуумдық сорғыға қосылады, ал модельдің кірісі сұйықтыққа (су) арналған қысқышына (поджимка) 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 цилиндрлер орнатылды. Біз кеуекті ортаға суды айдауды жалғастырамыз. Бұл жағдайда біз су астындағы қысымды бірнеше рет (3-4 рет) өзгертеміз (яғни, қабат моделіндегі қысымды өзгерту арқылы). Су айдау процесі кезінде қысым бірнеше рет өзгертіліп (қабатта), әрбір өзгеріс кезінде шығыс жағындағы сұйықтықтың шығыны өлшеуіш цилиндр және секундамердің көмегі арқылы өлшенді. Содан кейін сұйықтыққа арналған кеуекті ортаның сұйықтық арқылы өткізгіштігін, Дарси формуласы бойынша есептелді. Материалдық тепе-теңдіктен баланс әдісі арқылы, яғни қабаттан шыққан судың мөлшерін, жер астындағы судың бастапқы мөлшерін және сығылған судың қалған мөлшерін біле отырып, кеуекті ортадағы судың мөлшері анықталды. Осылайша, біз қабат моделінің кеуекті көлемін анықтаймыз.

Келесі қадамымыз – кеуекті ортаны мұнаймен қанықтыру. Басқаша айтқанда, бастапқы мұнаймен және кеуекті ортаның сумен қанығуын аламыз. Ол үшін, модельдің кіре берісіндегі су айдау жүйесін ажыратып, содан кейін мұнай айдау жүйесін қосамыз. Мұнай айдау жүйесіндегі қысым ауа баллонының көмегімен реттеліп, нәтижесінде мұнай кеуекті ортаға айдалады. Шығыс бөлігінде алдымен бөлінген судың, содан кейін шыққан мұнайдың көлемін өлшеп, көрсеткіштерді белгілеп аламыз. Шыққан мұнайдың мөлшерін өзгерте отырып, біз кеуекті ортаның белгілі бір қанығу дәрежесін анықтауға болады. Кеуекті ортада қалған су мен мұнайдың мөлшері материалдық баланс бойынша анықталды. Алынған мұнай мен су көлемдері және кеуектілік көлемі негізінде бастапқы су және мұнаймен қанығу дәрежелері есептеледі. Осылайша, әртүрлі өткізгіштікке ие қабат модельдерін дайындағаннан кейін тікелей эксперименттер жүргізуге көшеміз. Барлық эксперименттерде алдын-ала өткізгіштігі анықталды: абсолютті (ауа арқылы) және су арқылы. 3.1-3.3-кестелерінде біртекті емес қатпарлы қабаттың негізгі бастапқы деректері және эксперименттердің нәтижелері келтірілген.

Барлық эксперименттерде $K_0 = K_1/K_2$ қабатының біртекті емес дәрежесі (K_1 және K_2 -сәйкесінше жоғары және төменгі өткізгішті қабаттар) шамамен бірдей болды. Мұнайдың тұтқырлығы 205 мПа·с және тығыздығы 910 кг/м³ болатын мұнай пайдаланылды.

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 мұнайдың қанығуы, %	63,2	77,1
Бастапқы сумен қанығу, %	36,8	22,9
ПАА ерітіндісінің жиек көлемі, см ³	60(30)	-
ПАА ерітіндісінің концентрациясы, %	0,15	-
Ерітіндінің тұтқырлығы, мПа·с	20	
Мұнайбергіштік коэффициенті (МБК) I кезеңнен кейін, %	58	26
Қалдық мұнаймен қанығу, %	26,5	57,1
Мұнайбергіштік коэффициенті II кезең, %	10	9
Соңғы мұнайбергіштік коэффициенті, %	68	35
Қабат бойынша орташа мұнайбергіштік коэффициенті, %	51,5	
Мұнайдың соңғы қалдық қанықтылығы, %	22,1	50,1
Ығыстырудың II кезеңінің түрі	Дистилденген 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 мұнайдың қанығуы, %	64,0	75,6
Бастапқы сумен қанығу, %	36,0	24,4
ПАА ерітіндісінің жиек көлемі, см ³	55(30)	-
ПАА ерітіндісінің концентрациясы, %	0,25	-
Ерітіндінің тұтқырлығы, мПа·с	38	
Мұнайбергіштік коэффициенті (МБК) I кезеңнен кейін, %	56	24
Қалдық мұнаймен қанығу, %	28,1	57,4
Мұнайбергіштік коэффициенті II кезең, %	14	18
Соңғы мұнайбергіштік коэффициенті, %	70	42
Қабат бойынша орташа мұнайбергіштік коэффициенті, %	56	
Мұнайдың соңғы қалдық қанықтылығы, %	19,1	43,8
Ығыстырудың II кезеңінің түрі	Дистилденген 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 мұнайдың қанығуы, %	66,8	80,0
Бастапқы сумен қанығу, %	33,2	20,0
ПАА ерітіндісінің жиек көлемі, см ³	55(30)	-
ПАА ерітіндісінің концентрациясы, %	0,25	
Ерітіндінің тұтқырлығы, мПа·с	38	
Мұнайбергіштік коэффициенті (МБК) I кезеңнен кейін, %	57	25
Қалдық мұнаймен қанығу, %	28,7	60
Мұнайбергіштік коэффициенті II кезең, %	20	26
Соңғы мұнайбергіштік коэффициенті, %	77	51
Қабат бойынша орташа мұнайбергіштік коэффициенті, %	64	
Мұнайдың соңғы қалдық қанықтылығы, %	15,4	39,2
Ығыстырудың II кезеңінің түрі	Католиттің көрсеткіші ph=11	
Қабаттың біртекті емес дәрежесі, $K_0 = K_1/K_2$	2,51	

Зерттеудің бірінші кезеңінде жүргізілген барлық тәжірибелерде мұнайды дистилденген су арқылы ығыстыру жүзеге асырылды. Дистилденген судың мұнаймен шекарадағы беттік керілуі 42,2 мН/м-ге тең болды. Сұйықтықты айдау бір уақытта екі қабатқа да жүргізілді. Содан кейін жоғары өткізгіштігі бар қабат арқылы 4,1-4,8 кеуек көлеміне тең су көлемі айдағаннан кейін I кезең аяқталды (Сурет 3.2-3.4). Осы кезеңде жоғары өткізгішті қабаттың мұнайбергіштік коэффициенті 0,56-0,58 мәніне тең болса, ал төмен өткізгішті қабаттың мәні 0,24-0,26 құрады. Біртекті емес қабаттар арасындағы мұнайбергіштік коэффициентінің қатынасы K_0 қабаттың біртекті емес дәрежесіне шамамен сәйкес келетіні көрсетілді. Бастапқы деректер шамамен бірдей болған жағдайларда, су айдау режиміндегі мұнайбергіштік коэффициентінің бірдей екені көрсетілді. 3.2-3.4 кестелері нәтижелерінің көмегімен сызбалар тұрғызылды, 3.2-суретте №1 тәжірибенің өткізгіштігі жоғары қабат үшін мұнайбергіштік коэффициенті 58%-дан 68%-ға, ал өткізгіштігі төменгі қабат үшін 26%-дан 35%-ға артқаны көрсетілді. 3.2-3.4 суреттерде көрініп тұрғандай, су айдау режимі кезеңінен кейін қабатта, өткізгіштігі төмен қабаттарда, айтарлықтай мөлшерде қалдық мұнай қалады. 3.4-3.6-кестелерде өлшемсіз уақытпен айналатын су мөлшеріне тәуелді көрсеткіштері сипатталған.

Кесте 3.4 – Өлшемсіз уақытпен 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 уақытпен 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

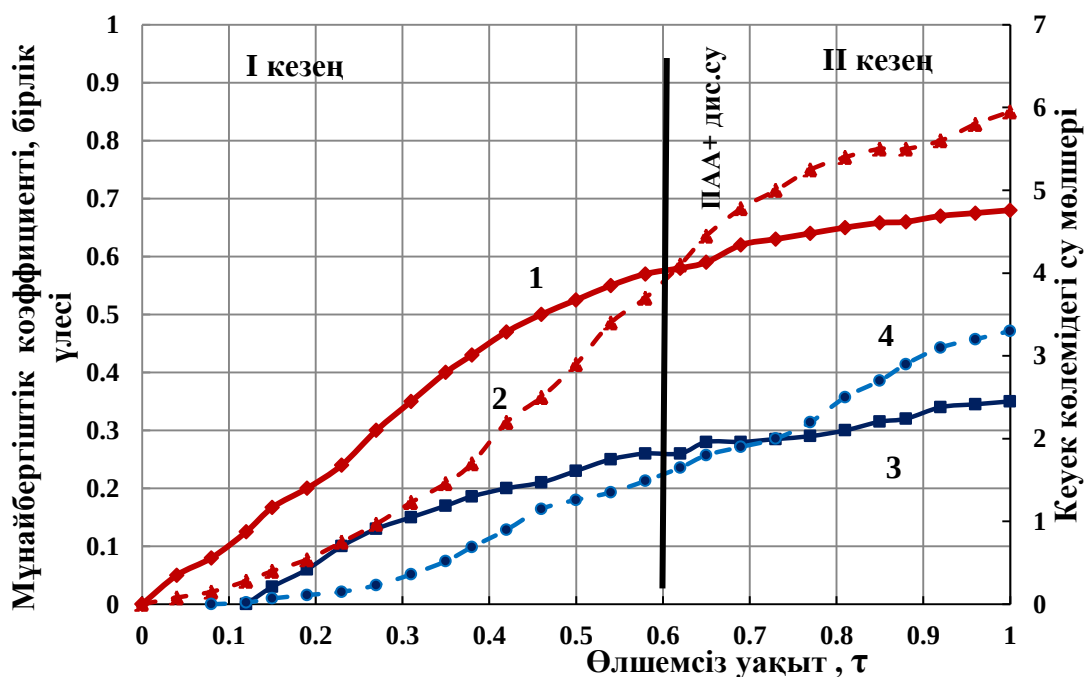
1	2	3	4	5
0.34	0.45	0.155	2.24	1
0.38	0.47	0.18	2.6	1.17
0.41	0.495	0.2	3	1.25
0.44	0.51	0.21	3.6	1.34
0.47	0.52	0.22	3.9	1.46
0.5	0.54	0.23	4.2	1.5
0.53	0.55	0.24	4.4	1.55
0.56	0.56	0.24	4.7	1.75
0.59	0.56	0.24	4.7	1.9
0.63	0.56	0.25	4.9	2.1
0.66	0.58	0.27	5.1	2.2
0.69	0.59	0.28	5.1	2.4
0.72	0.6	0.3	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 уақытпен 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

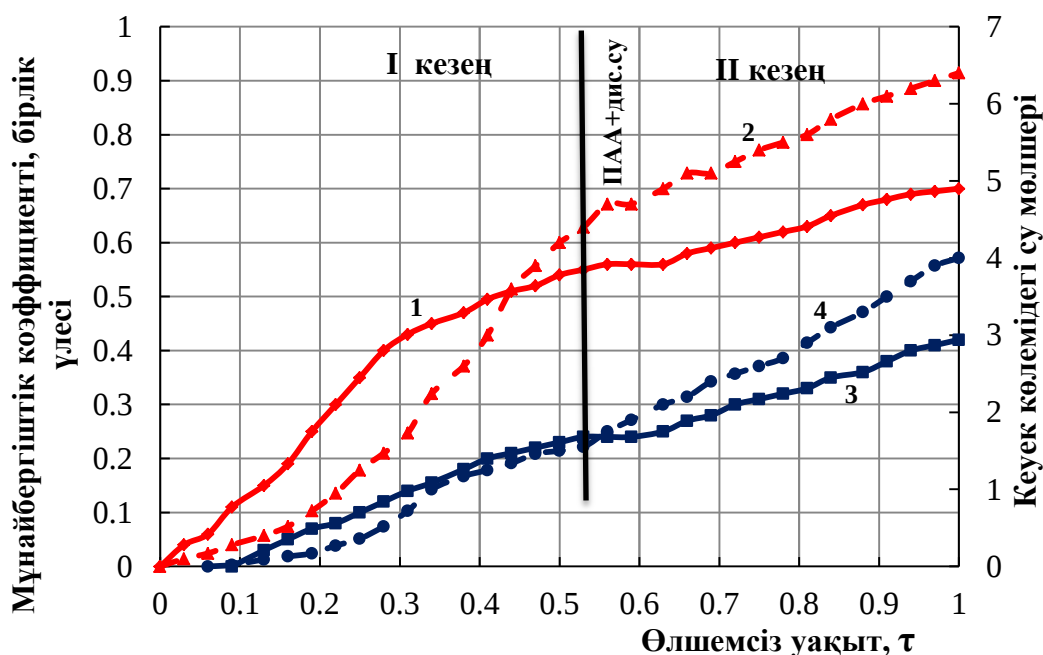
1	2	3	4	5
0.75	0.66	0.37	5.7	3.6
0.79	0.7	0.42	6	4
0.83	0.73	0.46	6.2	4.3
1	2	3	4	5
0.92	0.76	0.49	6.4	4.5
1	0.77	0.51	6.6	4.7



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

Сурет 3.2 – Мұнайбергіштік коэффициентінің (МБК) және айналатын су мөлшерінің өлшемсіз уақытпен 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 тәжірибе нәтижесінде қалдық мұнаймен қанығу дәрежесі өткізгіштігі жоғары қабатта 26,5% тең болатын болса, ал өткізгіштігі төмен қабатта – 57,1% құрады. Өткізгіштігі төмен қабаттан мұнай өндіруді күшейту мақсатында, II кезеңде өткізгіштігі жоғары қабатқа ПАА ерітіндісінің 0,15% жиегін айдау туралы шешім қабылданды.



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

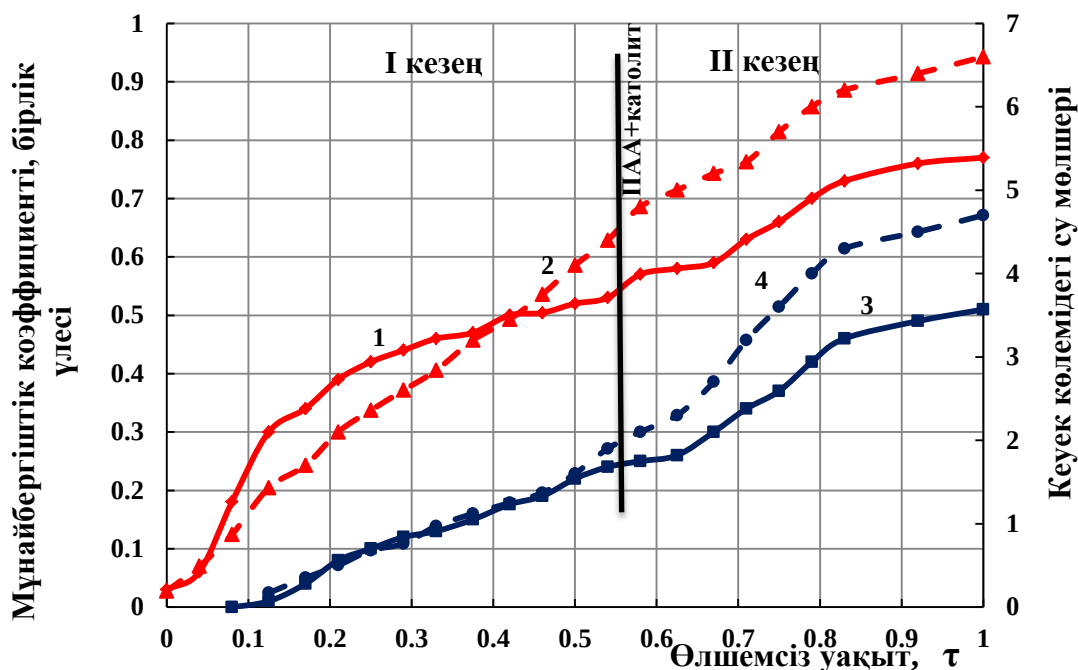
Сурет 3.3 - Мұнайбергіштік коэффициентінің (және айналатын су мөлшерінің) өлшемсіз уақытпен тәуелділігі $\tau = t_i / \Sigma t_i$ (№2 тәжірибе)

Тұтқырлығы жоғары полимерлі ерітінділер мұнай мен мұнайға байланысты суды кеуекті ортадан жақсы шығарады (3.1– кесте). Мұнайдағы ПАА концентрациясы ерітіндінің тұтқырлығын жоғарлатады. ПАА концентрациясы неғұрлым жоғары болса, мұнайдың тұтқырлығы соғұрлым жоғары болады. Алайда, ПАА концентрациясы тым жоғары болса, үдерістің уақытын қысқартуы мүмкін.

Полиакриламид жиегін айдау полимер молекулаларының кеуекті ортаның бетіне адсорбциялануына ықпал етеді. Бұл кеуекті арналардың ішінара бітелуіне алып келеді. Соның нәтижесінде судың сүзу қабілеті төмендеп, ығыстырылатын сұйықтықтың қозғалысына гидравликалық кедергінің арттуына себеп болады. Мұндай әсер жоғары өткізгішті қабаттан судың шамадан тыс ағынын шектеуге мүмкіндік береді.

Полимер ерітіндісі жоғары өткізгіш қабатқа басым түрде бағытталуы, бұл оның жоғары тұтқырлығы мен кеуекті ортада сүзу қабілетінің төмен болуымен түсіндіріледі. Нәтижесінде, сұйықтық ағындарының динамикасы біртекті емес азаяды. Біртекті емес қабаттарға айдалған сұйықтықтың ағыны кіріс аймағында қайта бөлінеді. Бұл ретте сұйықтықтың көп бөлігі төмен өткізгішті қабатқа бағытталады. Аталған құбылыс біртекті емес қабаттың мұнайбергіштік көрсеткіштерін арттыруға және қабаттың тиімді игерілу аймағын кеңейтуге

септігін тигізеді. №1 тәжірибе нәтижесінде жоғары өткізгішті қабат арқылы айдалған судың төмен өткізгішті қабаттағы көлемге қатынасы 1,8-ге тең, бұл біртекті емес қабаттың дәрежесінен төмен. Осылайша, ПАА ерітіндісін қолдану біртекті емес қабатты ішінара теңестірді. Соның нәтижесінде төмен өткізгішті қабаттағы (МБК) 9%-ға артты. II кезең аяқталған соң, жоғары өткізгіш қабатта қалдық мұнаймен қанығу – 22,1%-ды, ал төмен өткізгішті қабатта –50,1%-ды құрады.



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

Сурет 3.4 –Мұнайбергіштік коэффициентінің және айдалатын су мөлшерінің өлшемсіз уақытпен 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 жоғары концентрация (0,25%) жиегін айдау туралы шешім қабылданды, бұл өз кезегінде ерітіндінің тұтқырлығын жоғарлатуға мүмкіндік береді. 3.1- кестеден көріп отырғанымыздай, №2 тәжірибедегі ерітіндінің тұтқырлығы 1,9 есе өсті. Бұл әртүрлі өткізгіштік қабаттар арасында сұйықтық ағынын тиімдірек қайта бөлуді қамтамасыз етуі керек. I кезеңнің нәтижелері №1 тәжірибеге ұқсас болды. Мұнайбергіштік коэффициенті шамамен бірдей: жоғары өткізгішті қабатта 56%-ды, ал төмен өткізгішті қабатта 24%-ды құрады. Қалдық мұнайдың қанығуы: жоғары өткізгішті қабатта – 28,1%, ал төмен өткізгішті қабатта–57,4% болды.

I кезеңнің нәтижелері №1 тәжірибедегімен бірдей болды. II кезеңде жоғары өткізгішті қабатқа 0,25% концентрациядағы ПАА ерітіндісінің жиегі, кеуек көлемінің 30%-ына тең мөлшерінде айдалды. ПАА ерітіндісінің жиегін жоғары өткізгішті қабат арқылы қозғалды, ал төмен өткізгішті қабаттағы мұнай дистилденген су көмегімен ығыстырылды. Бұл құбылыс біртекті емес қабаттың мұнайды ығыстыруға әсерін елеулі түрде төмендетті (3.2-сурет). Төмен өткізгішті қабаттың мұнайбергіштік коэффициенті (МБК) №1 тәжірибемен салыстырғанда 2 есе өсті (9%-дан 18%-ға дейін). Яғни, 3.3-суретіндегі өткізгіштігі жоғары қабат үшін мұнайбергіштік коэффициенті 56%-дан 70%-ға, ал өткізгіштігі төмен қабат үшін мұнайбергіштік коэффициенті 24%-дан 42%-ға артты. Бірақ бұл жағдайда да екі қабаттағы қалдық мұнайдың қанығуының көрсеткіштері 19,1% және 43,8% жоғары көрсеткішке тең болды. №1 және №2 тәжірибелерден алынған нәтижелері көрсеткендей, біртекті емес қатпарлы қабаттан мұнайды ығыстыру процесінде тек ПАА жиегін қолдану жеткіліксіз екенін көрсетті. Осыған сүйене отырып және [85-87] жұмысында көрсетілген деректер негізінде №3 тәжірибеде біртекті емес қатпарлы қабаттан мұнайды ығыстыру үшін кешенді әдісті қолдану туралы шешім қабылданды. Әдістің мәні келесідей болды.

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

II кезеңінде 0,25% ПАА ерітіндісінің жиегі, кеуек көлемінің 30%-ына тең мөлшерде айдалды, бірақ бұл жолы ерітінді электрохимиялық модификацияланған су (католит) негізінде дайындалды. Католит сілтілік қасиетке ие және қабат арқылы қозғалған кезде мұнай құрамындағы қышқылдармен әрекеттеседі. Сондықтан, католитте дайындалған ПАА ерітіндісінің жиегін айдау және оның жоғары өткізгіш қабат арқылы қозғалысы мұнаймен шекаралас беттік керілуді 12 мН/м дейін төмендеуіне ықпал етті (католитсіз $\sigma = 42,2$ мН/м). Осы процестің нәтижесінде тау жыныстарының сіңіргіш қабілеті өзгеріп, эмульсия түзіледі. Бұл өз кезегінде жоғары өткізгішті қабаттың сүзу қабілетін төмендетуге көмектеседі. Сілтілік ерітінділердің әсері [88] жұмысында жақсы сипатталған. Төмен өткізгішті қабаттағы мұнайды ығыстыру да $\text{pH}=11$ болатын католит ерітіндісін айдау арқылы да жүзеге асырылды. Бұл технологияны қолдану нәтижесінде жоғары өткізгішті қабаттан мұнайды ығыстыру баяулап, төмен өткізгішті қабатта мұнай алу көрсеткішінің өсуі байқалды. Осы кезеңде жоғары өткізгішті қабаттың мұнайбергіштік коэффициенті I кезеңінде 57%-дан II кезеңінде 77%-ға артты. Ал төмен өткізгішті қабатта сәйкесінше 25%-дан 51%-ға көтерілгені көрсетілді. Осылайша, жоғары өткізгіштік қабаттың мұнайбергіштік коэффициенті 20%-ға, ал төмен өткізгіштік 26%-ға артқаны анықталды. Жүргізілген эксперименттердің нәтижелерін талдай отырып, мынандай қорытынды жасауға болады: №3 тәжірибеде біртекті емес қатпарлы қабаттардың мұнайбергіштік

коэффициентінің орташа мәні №1 және №2 тәжірибелермен салыстырғанда 8-12,5%-ға жоғары. Сонымен қатар, төмен өткізгішті қабатта №3 тәжірибеде бұл көрсеткіш 9-16%-ға артқаны көрсетілді.

Үш түрлі деңгейдегі эксперимент нәтижелеріне жүргізілген салыстырмалы талдау үшінші эксперименттің тиімділігі жоғары екенін көрсетті. Бұл полиакриламид пен католитті бірге айдау әдісінің неғұрлым нәтижелі тәсіл екенін дәлелдейді.

Осылайша, полимер мен католит ерітіндісінен тұратын композиция негізінде, біртекті емес қатпарлы қабаттардың құрылымына әсер етудің жаңа технологиясы әзірленді. Бұл композиция мұнайдың реологиялық қасиеттерін өзгертуге бағытталған, нәтижесінде мұнайбергіштік коэффициенті артады. Технологияны біртекті емес қатпарлы қабаттарға қолдану барысында, дистилденген сумен және ПАА жиегін айдау әдістерімен салыстырғанда, құрамында 0,25% католит ерітіндісі бар полиакриламид негізіндегі композиция мұнайбергіштік коэффициентінің орташа мәнін 8%-ға арттырғаны көрсетілді.

3.2 Эксперименттік зерттеулерде ең кіші квадраттар әдісін қолдану

Эксперименттік зерттеулердің негізгі міндеті – әртүрлі факторлар арасында байланысты анықтау және олардың заңдылықтарын зерттеу. Мұнай қабатынан мұнайды ығыстыру 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 қолдануға алынған ақпаратты дәлірек талдауға және ең кіші квадраттар әдісі арқылы алынған деректердің мағынасын тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Бұл әдісті практикалық және теориялық тұрғыдан меңгеру маңызды. Алынған тәуелділіктер зерттеулердің 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 мақсаты-деректер нүктелері

мен регрессия сызығы арасындағы тік ауытқулар квадраттарының қосындысын мейлінше азайту болып табылады.

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 болып табылады.

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

Мысалы ретінде мұнайды полиакриламид (ПАА) жиегімен және дистилденген сумен ығыстыруды қарастырайық. Эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, бұл тәуелділік қисық сызықты (параболалық форма тәріздес) сипатқа ие екенін көрсетті. Алынған тәуелділікке жүргізілген математикалық өңдеудің алдын-ала талдауы оның адекватты теңдеуін құрудың күрделі екенін көрсетті. Сондықтан бұл тәуелділікті математикалық жолмен екі кезеңде алу туралы шешім қабылданды. Бірінші кезеңде мұнайды тек дистилденген сумен ығыстыру қарастырылды, яғни сарқылу режимінде. Бұл қисық тәуелділігі келесі түрде берілген:

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

мұндағы η – мұнайдың ығысу коэффициенті, В-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 теңестірімнің орын ауыстыру арқылы түрлендіріледі, яғни $X=B$ және $Y=B/\eta$ мәніне тең деп алып, келесі сызықтық теңдеуіміздің қатынасына тең болатыны сипатталды:

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

мұндағы $b_0 = a$, $b_1 = b$ теңдік мәндерін 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 (3.4) жүйе орнына қою арқылы, келесі мәндерді аламыз $b_0 = 0,653$, $b_1 = 1,827$. Алынған мәндерді ескеріп, келесі 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 болып табылады. Үш тәжірибені ескере отырып алынған нәтижелер 3.7-кестеде келтірілген.

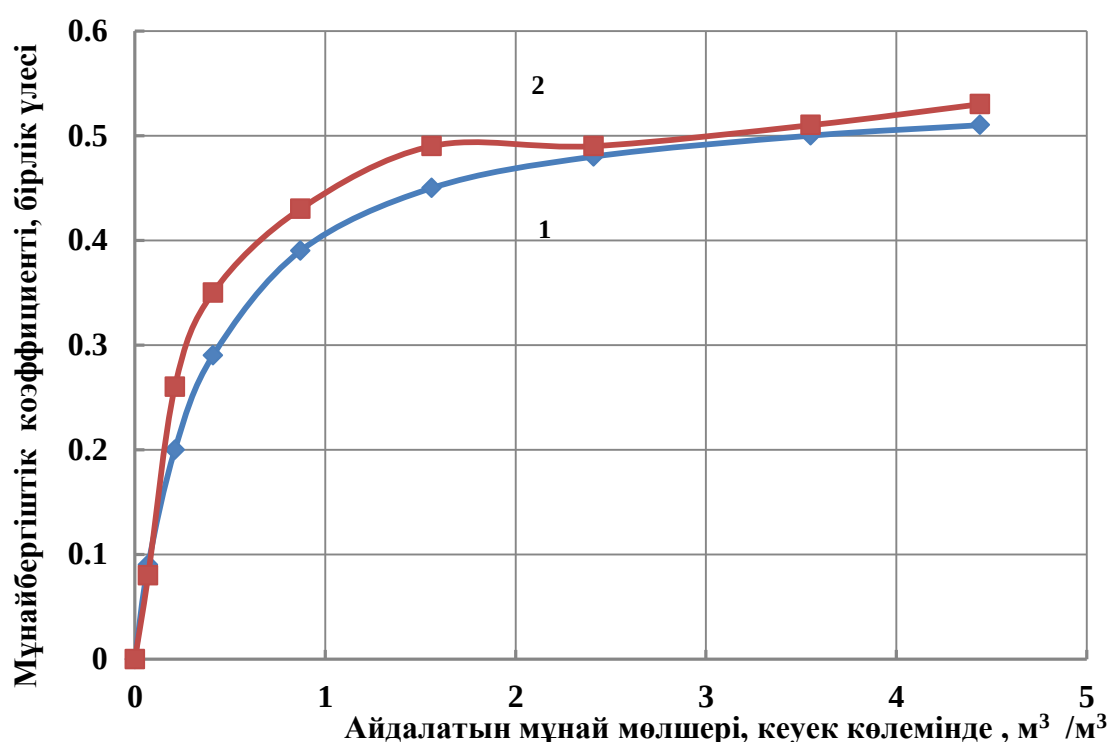
Алынған формула негізінде мұнайдың ығысу коэффициентінің графикалық тәуелділіктері салынды. Мысал ретінде №1 тәжірибені салыстырмалы талдау келтірілген (сурет 3.5).

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 – Мұнайбергіштік коэффициентінің айдалатын су көлеміне тәуелділігі (№1 тәжірибе)

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

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) формуласына теңестірілгенде, корреляция коэффициенті $r_{xy} = 0,82$ болды. Стьюденттің Т – квантильдері келесі формула бойынша анықталады:

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

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

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

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 жағдайда, сумен мұнайбергіштік коэффициентіне тәуелділікті анықтауға 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 -жиіктегі ПАА ерітіндісінің концентрациясы; x_2 -кеуек көлеміндегі айналатын 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].

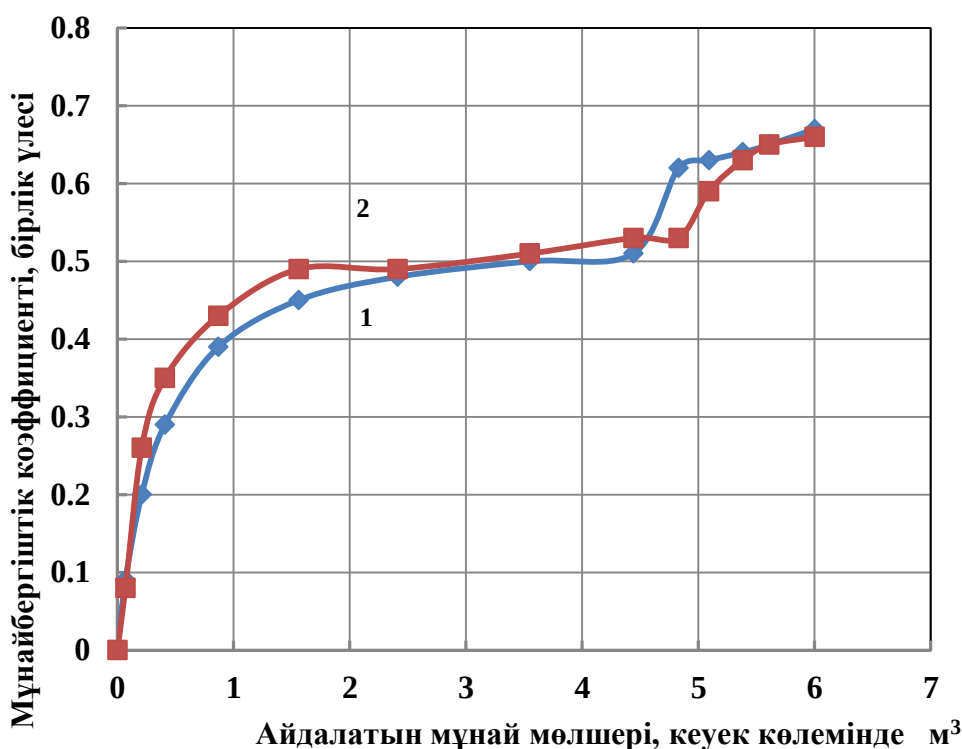
$$\begin{cases} Nb_0 + b_1 \sum_i^N X_{1i}X_{2i} + b_2 \sum_i^N X_{2i}^2 = \sum_i^N Y_i \\ b_0 \sum_i^N X_{1i}X_{2i} + b_1 \sum_i^N X_{1i}^2X_{2i}^2 + b_2 \sum_i^N X_{1i}X_{2i}^3 = \sum_i^N X_{1i}X_{2i}Y_i \\ b_0 \sum_i^N X_{2i}^2 + b_1 \sum_i^N X_{1i}X_{2i}^3 + b_2 \sum_i^N X_{2i}^4 = \sum_i^N X_{2i}^2Y_i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

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

Мұнайбергіштік коэффициенті ПАА ерітіндісінің концентрациясына және айналатын судың мөлшеріне тәуелділігі келесі теңдеу түрінде жазылады:

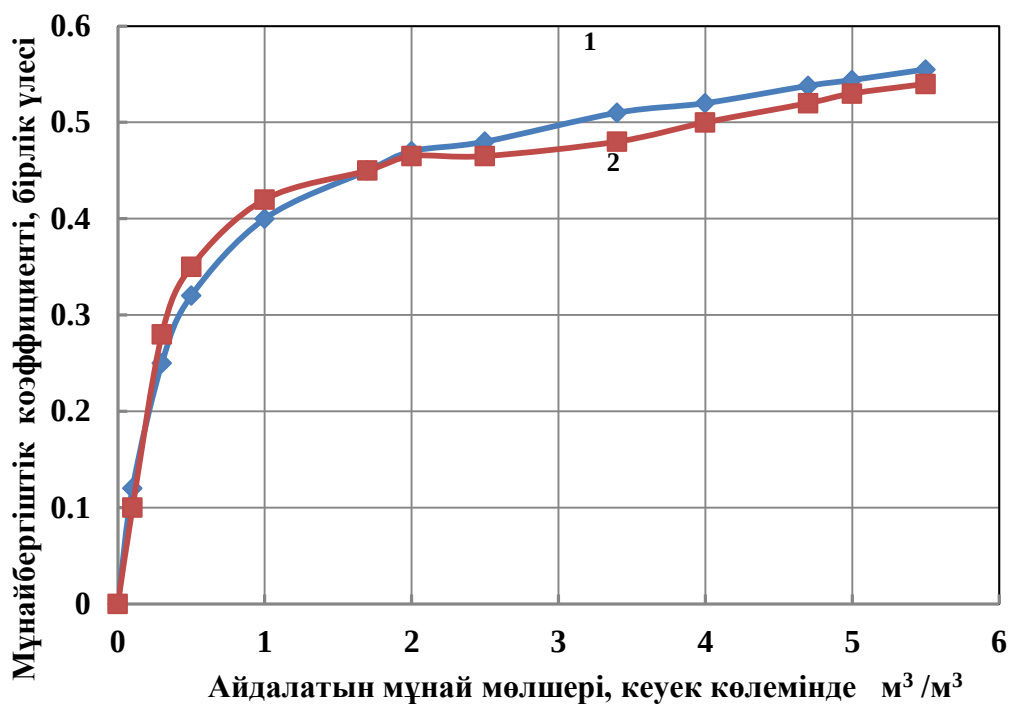
$$\eta = 0,447 + 0,068 \cdot C \cdot (V_{\text{су.айдап}} / V_{\text{кеуек}}) + 0,0005 (V_{\text{су.айдап}} / V_{\text{кеуек}})^2 \quad (3.11)$$

(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 – ПАА ерітіндісі 0,5% жиігі бар жағдайда айналатын су мөлшерінің мұнайбергіштік коэффициентіне тәуелділігі (№1 тәжірибе)



1 – есептік тәуелділік; 2 – эксперименттік тәуелділік.

Сурет 3.7 – ПАА ерітіндісі 0,25% жиегі бар жағдайда айдалатын су мөлшерінің мұнайбергіштік коэффициентіне тәуелділігі (№2 тәжірибе)

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

3.3 Біртекті емес қабаттарға аралас полимерлі және су-газ әсер етудің үйлесімді әдісін зерттеу

Қазіргі уақытта күрделі геологиялық құрылымы және өнімді коллекторларда қаныққан флюидтердің физика-химиялық қасиеттері бар мұнай кен орындарын игеру белсенді әсер ету әдістерін қолдану арқылы жүзеге асырылуда.

Жоғары тұтқыр мұнай өндірілетін кен орындарында әртүрлі геологиялық-өнеркәсіптік жағдайларда пайда болатын қиындықтардың себептерін уақытылы анықтау өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Себебі әрбір мұнайлы қабат әртүрлі кен орындарында құрылымдық кеңістіктің өзгеру сипаты мен технологиялық параметрлері бойынша бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленеді.

Қабаттардың мұнайбергіштігін арттыруға бағытталған инновациялық технологияларды кеңінен қолдану, әсіресе жоғары тұтқыр сұйықтықтармен мұнайды ығыстыру кезінде қалдық мұнайдың қанығуын тиімді төмендетуге

негізделген әдістер, кешенді геологиялық құрылымы бар және игерудің соңғы сатысында тұрған көптеген мұнай кен орындарында тұрақты өндіру деңгейін ұзақ мерзім бойы сақтауды қамтамасыз ете алады. Белгілі болғандай, сұйықтықтардың тұтқырлығын реттеу полимерлерді қолдану арқылы жүзеге асырылады. Осы мақсаттар үшін әртүрлі маркалары полимерлер қолданылады. Полимерлер су жүйелерінің реологиялық қасиеттеріне әсер етіп, әртүрлі тығыздықтағы гельдер түзе алады [91, 92].

Көптеген зерттеулер нәтижесі көрсеткендей, полимерлерді айдау технологиясы мұнай өндіруді арттыру үшін ағындарды бағыттау мақсатында және өндіруші ұңғымаларда судың артық ағынын шектеу үшін қолданылғанын көрсетеді [93, 94]. Полимерлі ерітінділерді қолдану суға қаныққан кеуекті ортаның бітелуін немесе өткізгіштігін төмендету үшін әртүрлі механизмдерін пайдалануға мүмкіндік береді. Мұнай ұңғымасындағы су ағынын шектелуі полиакриламидтің (ПАА) кеуек беттеріне адсорбциялану қабілетімен немесе кеуектерді бітей алатын байланысқан полимерлер түзу қасиетімен түсіндіріледі. Полимер концентрациясы артқан сайын ерітіндінің қозғалғыштығының төмендейтіні анықталған [95, 96]. Дегенмен де полимерлі су айдаудың тиімділігін көрсететін көптеген жұмыстардың арасында игерудің соңғы сатысында тиімсіз екенін көрсететін еңбектер де кездеседі [97-99].

Ғылыми әдебиеттерде сарқылған қабаттардан мұнай өндіруді арттыру үшін су-газ қоспасын қолдануға арналған көптеген зерттеулер бар [100, 101]. Бұл жұмыста мұнай қабатына әсер етудің жоғарыда аталған екі технологиясының кешенді әдісі қарастырылады [102-104].

Полимерлі және су-газ әдістерін біріктіру келесі нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді:

- полимер ерітіндісі мен көбіктің төмен өткізгішті аймақтарға жақсырақ енуі есебінен қабаттың қамтылуын арттыру;
- мұнай мен су арасындағы фаза аралық керілудің төмендеуі, сондай-ақ неғұрлым тұрақты эмульсиялар түзілуі арқылы мұнайдың қабаттан ығыстырылуын көбейту;
- тұрақты эмульсиялар түзілуі және мұнайды көбіктің ығыстыруы есебінен қабаттағы қалдық мұнай мөлшерін азайту;
- қабаттағы қысымды біркелкі бөлу арқылы жарықтардың пайда болу қаупін төмендету;
- полимер ерітіндісінің тұтқырлығын арттыру арқылы су айдау тиімділігін жоғарлату.

Зерттеу жұмысымыз ұзындығы 0,84 м және диаметрі 0,025 м болатын қабат моделінде жүргізілді. Қондырғының сұлбасы 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

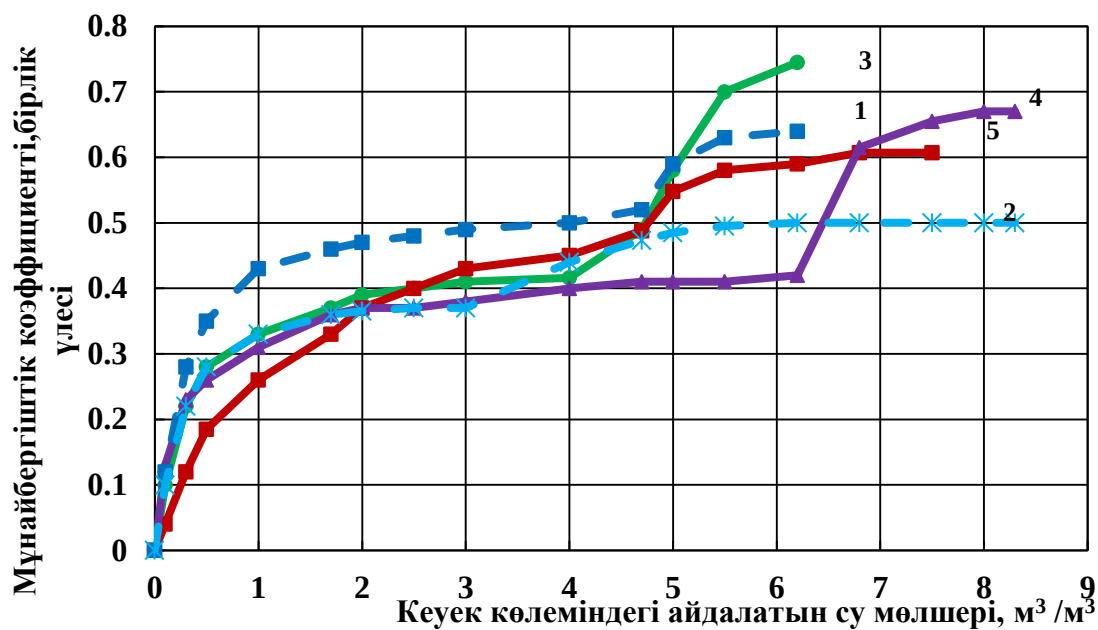
ПАРАМЕТРЛЕРІ	1	2	3	4	5	6
Су бойынша өткізгіштігі, мкм ²	1,8	1,88	1,79	1,82	1,39	1,23
Мұнаймен қанығу %	86,3	81,8	81,5	81,8	79,9	85,9
Сумен қанығуы, %	13,7	18,2	18,5	18,2	20,1	14,1
Ерітінді концентрациясы ПАА, %	0,5	0,25	0,5	0,1	0,25	-
ПАА жиегінің көлемі, үлгі көлемі	43,8	42,4	41,2	42,4	41,4	-
МБК I 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 мұнайдың қанығуы 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 эталондық 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 қабатқа кешенді әсер етудің салыстырмалы талдауын жүргізу үшін қажет болды. Осы талдау негізінде сарқылу режимінен кейін әзірленетін мұнай қабатына әсер етудің әртүрлі әдістерінің тиімділігі анықталды. Осыған сүйене отырып, бастапқыда сарқылған қабаттан полиакриламидтің (ПАА) ерітіндісінің жиегі арқылы мұнайды ығыстыру үшін екі эксперимент жүргізілді. Эксперименттер келесі ретпен орындалды. Алдымен сарқылған қабат жасалды (I кезең).

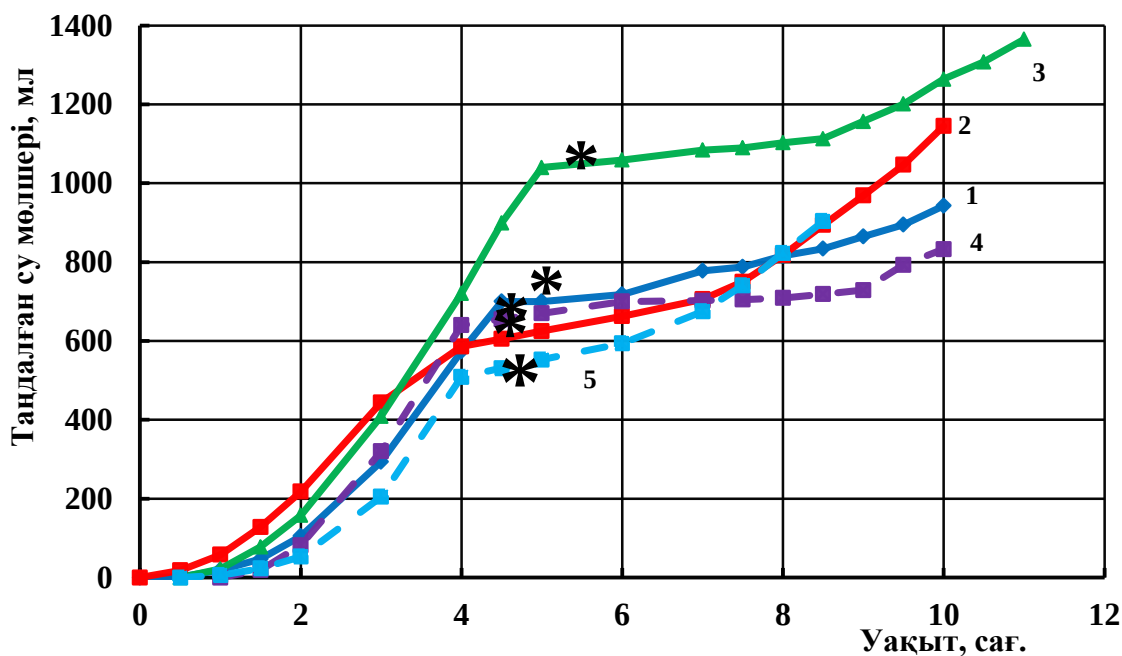
Осы мақсатта қабаттан мұнайды ығыстыру дистилденген суды айдау арқылы жүзеге асырылды. Басқа сулардың құрамындағы тұздардың ығысу процесіне әсерін болдырмау үшін дистилденген су қолданылды. 3-4 кеуек көлеміндегі суды айдап, қабат үлгісінен мұнайдың шығуы айтарлықтай тоқтағаннан кейін, ығыстыру процесі аяқталды. Дегенмен, қабатта әлі де айтарлықтай мөлшерде мұнай қалды.

3.9-кестеде қабаттан мұнайбергіштік коэффициентінің мәндері және I кезеңнен кейінгі №1 және 2 тәжірибелердегі қалдық мұнайдың қанығуы көрсетілген (сурет – 3.8).



1-тәжірибе №1 4,4-4,8 $\text{м}^3/\text{м}^3$ су көлемінің аралығындағы жиекті айдау; 2-тәжірибе №2 3,4-3,8 $\text{м}^3/\text{м}^3$ су көлемінің аралығындағы жиекті айдау; 3-тәжірибе №3 4,3-4,5 $\text{м}^3/\text{м}^3$ су көлемінің аралығындағы жиекті айдау; 4-тәжірибе №4 6,5-6,9 $\text{м}^3/\text{м}^3$ су көлемінің аралығындағы жиекті айдау; 5-тәжірибе №5 3,9-4,4 $\text{м}^3/\text{м}^3$ су көлемінің аралығындағы жиекті айдау.

Сурет 3.8 – Мұнайбергіштік 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 бірінші кезеңде таңдалған судың көлемі, тиісінше, №1 тәжірибеде – 4 кеуекті көлемін, 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 дистилденген сумен қабатқа жылжытылды. ПАА ерітіндісінің жиектері тұтқырлығы оның концентрациясына байланысты судың тұтқырлығынан әлдеқайда жоғары (3.9-кесте). Бұл айдалатын судың қозғалыс қабілеттілігінің төмендеуі, кварц құмының түйіршіктерінде полимердің ішінара адсорбциясына ықпал етеді. Мұның бәрі қалдық кедергі факторын арттыруға және қабат моделінен шығуында су ағынының төмендеуіне әкеледі. Қалдық кедергі факторы келесі формула бойынша анықталады:

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

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

мұндағы: ΔP_{π} және q_{π} – 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 $R = 1,3$ мәніне тең 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. Сонымен қатар, судың шығу шетіне қарай ішінара өтуі байқалады. Бұл өз кезегінде алынатын судың мөлшерінің өсуіне және алынатын мұнай көлемінің төмендеуіне әкеледі (3.6-сурет және 3.7-сурет). №1 және 2 тәжірибелердегі соңғы мұнайбергіштік коэффициенті сәйкесінше 65,9% және 54% тең болды (3.8-сурет, 1 және 2 графиктер). Суреттерден көрініп тұрғандай, ПАА концентрациясы неғұрлым жоғары болса, яғни ПАА ерітіндісінің жиегі дайындалған судың қоюлығы артқан сайын, үрдістің тиімділік көрсеткіштері де жоғары болды. Соған қарамастан, есептеулер көрсеткендей, қабаттарда әлі де жеткілікті мөлшерде мұнай қалады: №1 тәжірибеде қалдық мұнай қанығу көрсеткіші – 41,7%, ал №2 тәжірибеде – 50,1% құрады. Осы тәжірибелердің нәтижелері қабаттан қосымша мұнайды өндіру үшін жаңа технологияны қолдану қажеттілін көрсетеді. Осындай технологиялардың бірі су – ауа қоспасын қолдану (немесе жалпы атауы – су- газ қоспасы) әдісі болып табылады.

Осы мақсатта қабаттың моделіне айдалған ПАА ерітіндісінің жиектерін қабатта су-газ қоспасы арқылы жылжытылады. Эксперименттік зерттеулеріміз екі кезеңде жүргізілді. Бірінші кезеңде мұнайды дистилденген сумен ығыстыру жүзеге асырылды. Бірінші кезеңнің аяқталуында, қабат арқылы 4-6 кеуек көлеміндегі су айдалғаннан кейін немесе қабат моделінің шығысында алынатын өнімде мұнайдың болмауымен анықталды, бұл дегеніміз №1 және №2 тәжірибелеріне ұқсас болуы. Осылайша, қабаттың сарқылу режимінде игеру жүргізілді. Барлық тәжірибелерде қалдық мұнай қанығуы жоғары болды, ал мұнайбергіштік көрсеткіші аз болды (3.9-кесте және 3.8-сурет). Сондықтан сарқылған қабаттан қосымша мұнай өндіруді арттыру мақсатында, қабатқа ПАА ерітіндісінің жиегін айдау туралы шешім қабылданды, оның орын ауыстыруы су-газ қоспасын айдау арқылы жүзеге асырылды. №3,4,5 тәжірибелерінде екінші кезеңге көшу қабатқа ПАА ерітіндісінің жиегі айдау арқылы жүргізілді. ПАА концентрацияларының мөлшерінде 0,1; 0,25 және 0,5% концентрациясымен, ал айдалған кеуек көлемінің 41,2-43,8%-ын қамтыды (3.9-кесте).

Полимерді қабат бойымен айдау, су-газ қоспасымен жүзеге асырылды. Су-газ қоспасын айдаушы агент ретінде пайдалану, оны қабат ішінде эмульсия түзейтін қабілетіне байланысты таңдалды. Бұл эмульсияның тұтқырлығы айдалатын судың, әсіресе ауаның тұтқырлығынан ерекшеленеді. Қабат жағдайындағы қоспаның тұтқырлығы полимерлі су айдаудың тиімділігіне әсер ететін маңызды параметр болып табылады. Қоспаның тұтқырлығы неғұрлым жоғары болса, соғұрлым ол мұнайды қабаттан жақсы ығыстырады. Алайда, қоспаның тұтқырлығы тым жоғары болса, оны қабатқа айдау кезінде қиындықтар туындауы мүмкін.

Қабат жағдайындағы қоспаның тұтқырлығын Эйнштейннің өзгертілген формуласы арқылы анықтауға болады:

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

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

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

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

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

3.10 кестесінде берілген қоспаның тұтқырлық формуласы негізінде су-газ қатынасына байланысты қоспаның тұтқырлығының өзгерісін №4 нөмерлі тәжірибе мысалында есептейміз (3.10-кесте). Яғни, формуларымызды сипаттаймыз:

$$V_{г,қаб.ж} = \frac{V_{г,қж}}{P_{ққ}} \quad (3.15)$$

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

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

$P_{кк}$ – қабат қысымы;

B – су-газ қатынасы;

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

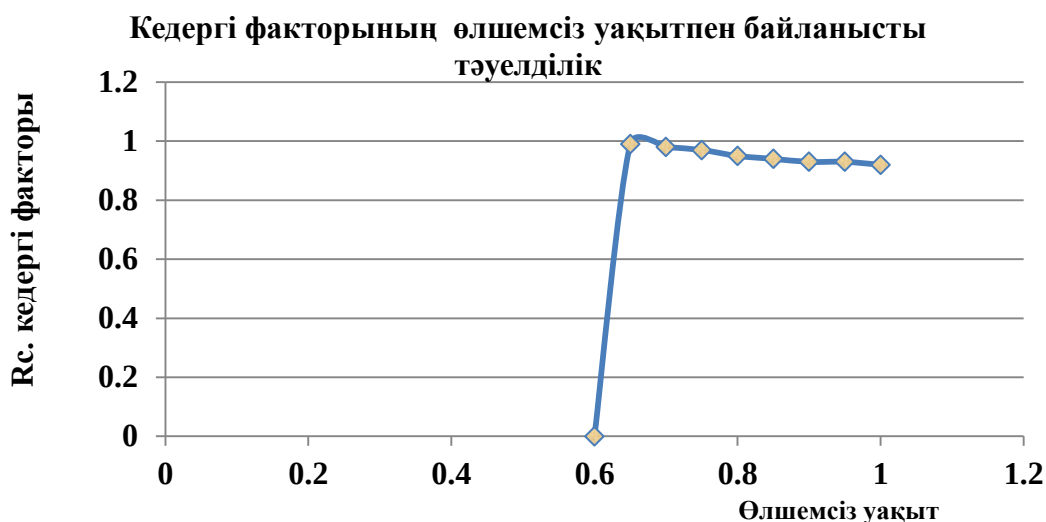
$\sum V_{г,к,ж}$ – қалыпты жағдайдағы жинақталған газ көлемі.

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

Кедергі факторының өлшемсіз уақытқа тәуелділік графигі сұйықтық ағынының кеуекті ортадағы қарсылығының уақыт өте қалай өзгеретінін көрсетеді. Өлшемсіз уақыт – бұл белгілі бір сипаттамалық уақытқа нормаланған уақыт. Кеуекті ортадағы сұйықтық ағыны жағдайында бұл сипаттамалық уақыт ретінде сұйықтықтың белгілі бір кеуекті ортадағы ауысу нүктесіне жетуі үшін кететін уақыт ретінде қабылданды.

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 уақыттыңа байланысты тәуелділік

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

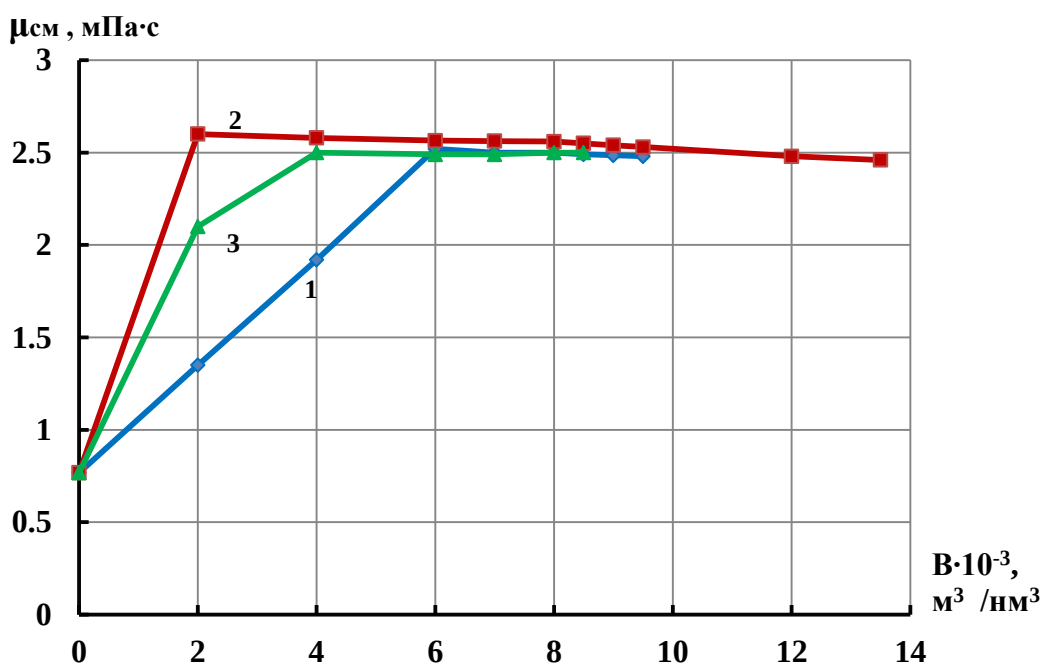
Есептеу нәтижелері 3.10–суретте көрсетілген. (3.14) формуласынан көріп отырғанымыздай, газ қоспасындағы газдың көлемдік үлесі газдың көлеміне және айналатын суға байланысты. Көбінесе бұл көрсеткіш айналатын судың көлеміне байланысты. Басқа жағдайлар тең болған кезде, су мөлшері азайған сайын R_c артады, демек, қоспаның тұтқырлығы жоғарылайды. Жоғары тұтқырлыққа ие су-газ қоспасы ПАА ерітіндісінің қабат бойынша тиімдірек жылжытып, нәтижесінде мұнайды қабаттан толығымен ығыстыруды жүзеге асырады.

Су-газ қоспасының тұтқырлығын арттыру шын мәнінде полиакриламид ерітіндісінің жиегін тиімдірек жылжытуға ықпал етуі мүмкін. Айналатын 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 кеуектері мен жарықшақтарында біркелкі таралуын және жақсырақ бақылауын қамтамасыз етуі мүмкін, бұл өз кезегінде өңдеу процесінің немесе басқа да технологиялық процестердің тиімділігін арттыруы мүмкіндігін көрсетеді.

Сонымен қатар, өндірілетін судың мөлшері азаяды. 3.9-суретте бұл анық көрсетілген және 3.1-кестеде (15-бағанында) осы төмендеу дәрежесі көрсетілген. 3.11-суретінде су-газ қоспасының тұтқырлығының су-газ қатынасына тәуелділігі келтірілген. Көріп отырғанымыздай, белгілі бір су-газ қоспасының қатынасына дейін қоспаның тұтқырлық мөлшері артады, содан кейін олардың тұрақтануы жүреді. Байқап отырғаныңыздай, тұтқырлық

мәндерінің тұрақтандырудың басталуы ПАА ерітіндісінің концентрациясына байланысты.

Ерітіндінің концентрациясы неғұрлым төмен болса, соғұрлым максималды мәнге тезірек жетеді және әрі қарай су-газ қатынасы артқан сайын іс жүзінде тұрақты болып қалады. Бұл, ең алдымен, тәжірибелердегі қалдық кедергі факторының әртүрлі шамаларымен байланысты (3.9-кесте). Концентрация және сәйкесінше қалдық кедергі факторы неғұрлым аз болса, соғұрлым қабатта тұтқырлығы жоғары эмульсия тез түзіледі. Тұтқырлығы жоғары эмульсия суланған аймақты аз сұйылтады және өз қасиеттерін ұзақ уақыт бойы сақтайды, сондықтан су ағыны төмен болған жағдайында мұнайды тиімдірек ығыстырады.



1- №3 тәжірибе ($C = 0,5\%$) , 2 –№5 тәжірибе ($C = 0,25\%$) , 3- №4 тәжірибе ($C = 0,1\%$).

Сурет 3.11 – Қоспаның тұтқырлығының су-газ қатынасына тәуелділігі

Қоспаның тұтқырлығы (көбінесе полимерлердің қосылуымен) су-газ қатынасына байланысты өзгеруі мүмкін. Су-газ қатынасы қоспадағы газ бен судың көлемдік қатынасын сипаттайды. Су-газ қатынасы артқан сайын қоспаның тұтқырлығы, әдетте, төмендейді. Бұл судың газбен сұйылуына байланысты қоспадағы полимер молекулалары (немесе басқа қоспалар) арасындағы өзара әрекеттесудің азаюынан болады. Су-газ қатынасының артуы бірнеше себептер бойынша үрдістің тиімділігін арттыруға ықпал етуі мүмкін:

- қоспаның тұтқырлығының төмендеуі, әдетте, тау жыныстарының өткізгіштігінің артуымен байланысты. Бұл полимерлер мен басқа да қоспаның

тау жынысқа жақсырақ енуіне мүмкіндік береді, нәтижесінде мұнайды алу тиімділігін арттыруы мүмкін.

- төмен тұтқырлық кезінде қоспа қабатта біркелкі таралады, бұл мұнайдың біркелкі және тиімдірек алынуына ықпал етеді.

- төмен тұтқырлықтағы қоспаны қабат арқылы өткізу үшін аз энергия қажет, әрі мұндай қоспа жынысқа оңайырақ енеді, бұл мұнай өндіру жылдамдығын арттыруы мүмкін. Су-газ қатынасының артуы есебінен қоспаның тұтқырлығының төмендеуі мұнай алу үрдісінің тиімділігін арттыруы мүмкін, алайда үрдісті оңтайландыру және ең жақсы нәтижеге қол жеткізу үшін қабаттың құрылымы, полимердің түрі, ұңғыманың жұмыс параметрлері және басқа да жағдайлар сияқты факторларды ескеру қажет.

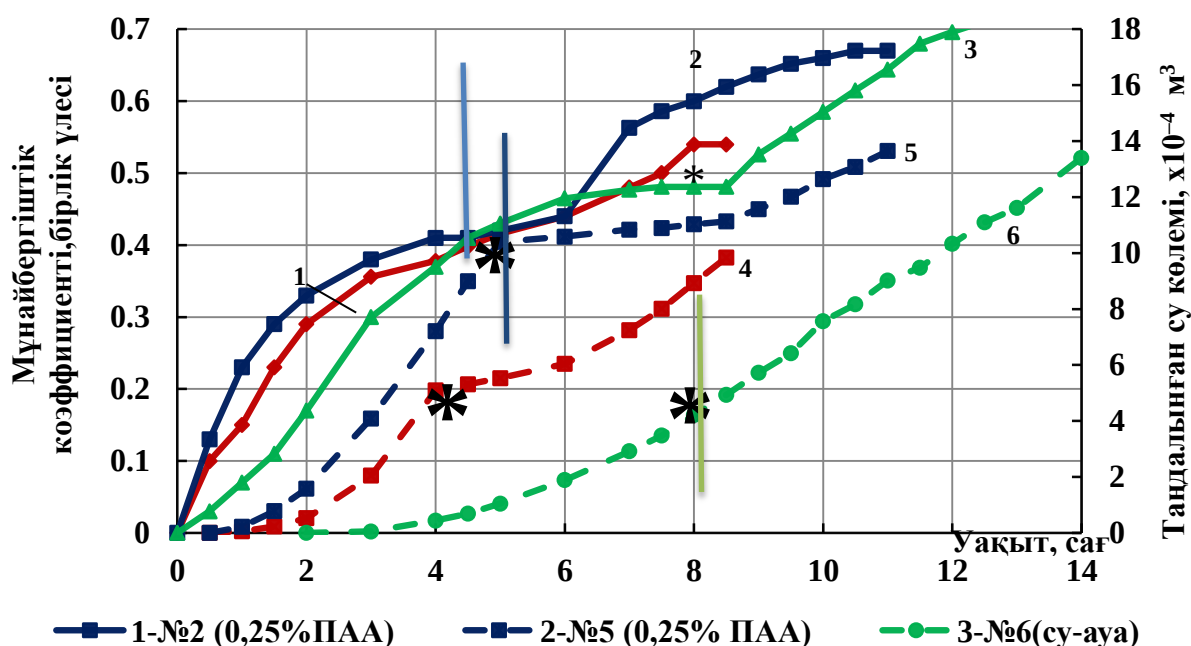
- мұнайды ығыстыру коэффициенті артады және өндірілетін судың мөлшері азаяды (3.9-кесте және 3.8, 3.9-суреттер). Бұл су ағынының су жиегі арқылы өтуін тежейді, бірақ газ ағынына айтарлықтай әсер етпейді.

Үшінші тәжірибе кезеңінде сарқылу режимінен кейін мұнайды су-газ қоспасымен ығыстыру процесі зерттелді. Бірінші кезеңнен кейінгі қалдық мұнай қанығуы №6 тәжірибеде 48,1% болды. Қосымша мұнай алу мақсатында қабатқа су-газ қоспасы айдалды: №6 тәжірибеде оның орташа мәні 0,0015 м³/нм³ құрады. Қоспаның тұтқырлығы судың тұтқырлығынан айтарлықтай ерекшеленеді, бұл мұнайды тиімдірек ығыстыруға ықпал етеді.

Зерттеу нәтижелері қоспаның тұтқырлығы неғұрлым жоғары болса (яғни су-газ қатынасының шамасы артқан сайын), соғұрлым үрдіс тиімді өтетінін көрсетті. №6 тәжірибеде алынған мұнай мөлшері 14,7% құрады. Үш тәжірибе кезеңін салыстырмалы талдау (полимермен; полимер мен су-газ қоспасымен; су-газ қоспасымен) су-газ қоспасын пайдаланудың артықшылығын 3.10 және 3.11-суреттерде көрсетілген.

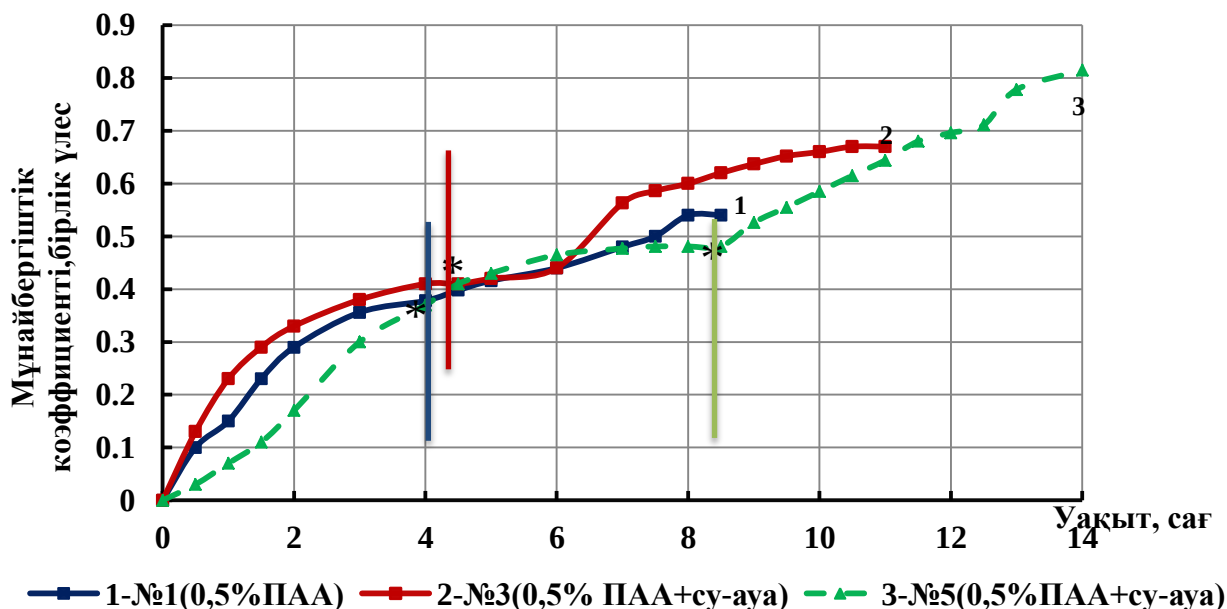
Суреттерден көрініп тұрғандай, су-газ қоспасын пайдалану арқылы қабаттан қалдық мұнайды ығыстырудың тиімділігі 0,25 және 0,5% концентрациядағы ПАА қолданған жағдайлармен, сондай-ақ 0,25 және 0,5% концентрациядағы ПАА су жиегімен су-газ қоспасын айдай отырып жүргізілген тәжірибелермен салыстырғанда жоғары емес. Басқа тәжірибелермен салыстырғанда, су-газ қоспасы қолданылған №6 тәжірибеде қосымша алынған мұнай мөлшері әлдеқайда аз болды.

Су-газ қоспасын қолдану кезіндегі мұнайбергіштік коэффициенті 0,5% концентрациядағы ПАА су жиегінің су-газ қоспасымен ығыстырған жағдаймен салыстырғанда 17,7% төмен. Ал 0,5% ПАА су жиегін су-газ қоспасымен қолдану кезінде мұнайбергіштіктің соңғы мәніне тез жету – оң нәтиже болып табылады. 3.12-суретінде № 2, 5 тәжірибелерінің ПАА ерітіндісінің 0,5% концентрациясындағы мұнайбергіштік коэффициенті сәйкесінше 54% пен 81,5%, ал №6 тәжірибеде 58,5%-ды көрсетті. Келесі 3.13-суретінде № 1, 3, 5 тәжірибелерінің мұнайбергіштік коэффициенттері сәйкесінше 65,9%, 74,5%, 81,5% тең болды.



1– № 2 тәжірибе 0,25% ПАА ерітінді су жиегін, сумен ығыстыру (4-5 сағ);
 2– № 5 тәжірибе 0,25% ПАА ерітінді су жиегін, су – ауа қоспасымен ығыстыру (5 сағ); 3- № 6 тәжірибе су – ауа қоспасы (8,5 сағ.бастап); *– ПАА мен су – газ қоспасын айдау басталған уақыт.

Сурет 3.12 – Мұнайбергіштік коэффициентінің динамикасы



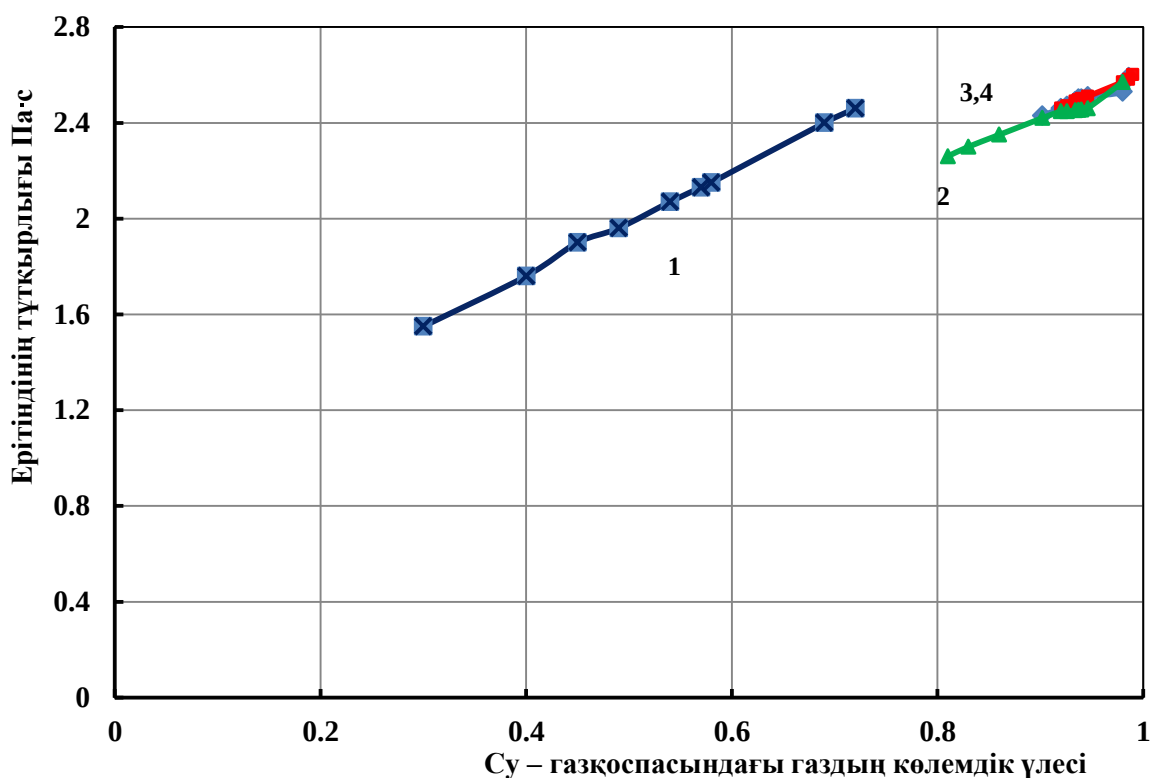
1– №1 тәжірибе 0,5% ПАА ерітінді су жиегін, сумен ығыстыру (4 сағ); 2– №3 тәжірибе 0,5% ПАА ерітінді су жиегін, су-ауа қоспасымен ығыстыру (4-4,25 сағ); 3 – № 5 тәжірибе 0,5 % ПАА ерітіндісін су-газ қоспасымен ығыстыру (8,5сағ); *– ПАА мен су-газ қоспасын айдау басталған уақыт.

Сурет 3.13 – Мұнайбергіштік 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.

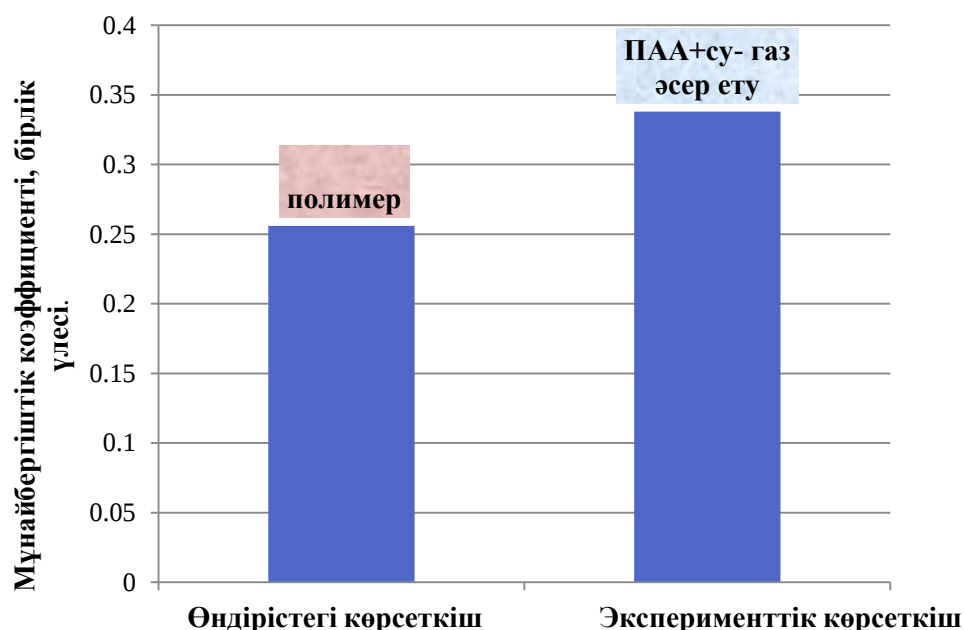
(3.13) формуласына сүйене отырып, су-газ қоспасының тұтқырлығы қоспасындағы ауа (газдың) су-газ (R) көлемдік үлесіне байланысты. 3.14-суретте бұл тәуелділік барлық тәжірибелер үшін осы тәуелділік көрсетілген. 3.14-суреттен көрініп тұрғандай, бұл тәуелділік сызықты теңдеуді көрсетеді.

Кешенді әсер ету кезінде тұтқырлықтың газдың көлемдік үлесіне тікелей тәуелділігі мұнайды тек су-газ қоспасымен ығыстыру процесінде алынған тұтқырлықтан жоғары болады. Қабаттағы жоғары тұтқырлықты 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 –№6 тәжірибе II кезеңде тек су-газ қоспасымен ығыстыру; 2 –№3 тәжірибе ығыстыру II кезеңде 0,5% ПАА ерітіндісімен және су-газ қоспасымен ығыстыру, 3,4 – №4 және 5 тәжірибелер II кезеңде 0,1% және 0,25% ПАА ерітіндісімен және су-газ қоспасымен ығыстыру.

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



Сурет 3.15 – Мұнайбергіштіктің тиімділік көрсеткіші

3.15-суретінде көрсетілгендей, полимерлі су айдау кезіндегі мұнайбергіштік коэффициентінің мәнімен, қазіргі ПАА+су-газ әсерін пайдалану барысындағы мұнайбергіштік коэффициентінің мәні салыстырмалы түрде жоғарлағанын көруге болады. Нақты өндірістегі мұнайбергіштік коэффициенті тек полимерлі су айдауды қолдану барысында 26%-ға тең болса, біздің эксперименттік МБК 32,9% -құрады.

Дегенмен, су-газ қоспасының әрекеті қоспаның сумен салыстырғанда тұтқырлығының өзгеруімен, 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 тұрақтану деңгейіне жетеді (сурет 3.12). ПАА ерітіндісінің концентрациясының әрбір мәні үшін бұл (В) мәні болып табылады. Тәжірибелердегі су-газ қоспасының орташа тұрақтандырылған тұтқырлығының мәні 2,5 мПа·с құрады. Сонымен қатар, су-газ қатынасы 0,006 м³/нм³-ден асқан кезде барлық концентрациялар үшін тұтқырлық тұрақты күйде қалады.

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 қатпарлы қабаттарда жақсы көрсеткіш көрсетеді. Салыстырмалы талдау нәтижесі, мұнайдың ПАА ерітіндісін су-газ қоспасымен ығыстырудың тиімділігі, су-газ қоспасымен ығыстыруға карағанда жоғары екенін көрсетті (3.13-сурет).

3.4 Техника-экономикалық көрсеткіштерінің бағалануы

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

Гидродинамикалық үлгі құрудың басты мақсаты – игеру процесін толықтай сипаттау, оны жоспарлау және геологиялық-техникалық іс-шаралардың нәтижелерін болжау мүмкіндігі болып табылады.

Кешенді әдістердің техника-экономикалық тиімділігін анықтау барысында сектор кесіліп, гидродинамикалық үлгіні пайдалана отырып, болжау деректеріне агенттер айдаудың әртүрлі нұсқалары бағаланды. Талдау тек бірінші қатарындағы ұңғымаларға, атап айтқанда, 1131 және 1132 айдау ұңғымаларына жүргізілді, ал қалған ұңғымалар қабаттардың шекаралық жағдайларының дәлдігін анықтау мақсатында үлгіге қосылды. Бұл тәсіл секторлық үлгілеу кезінде стандартты болып табылады, өйткені сектор шектеулі, нақты секторда өзара ықпалдастығы бар ұңғымалардан тұрады.

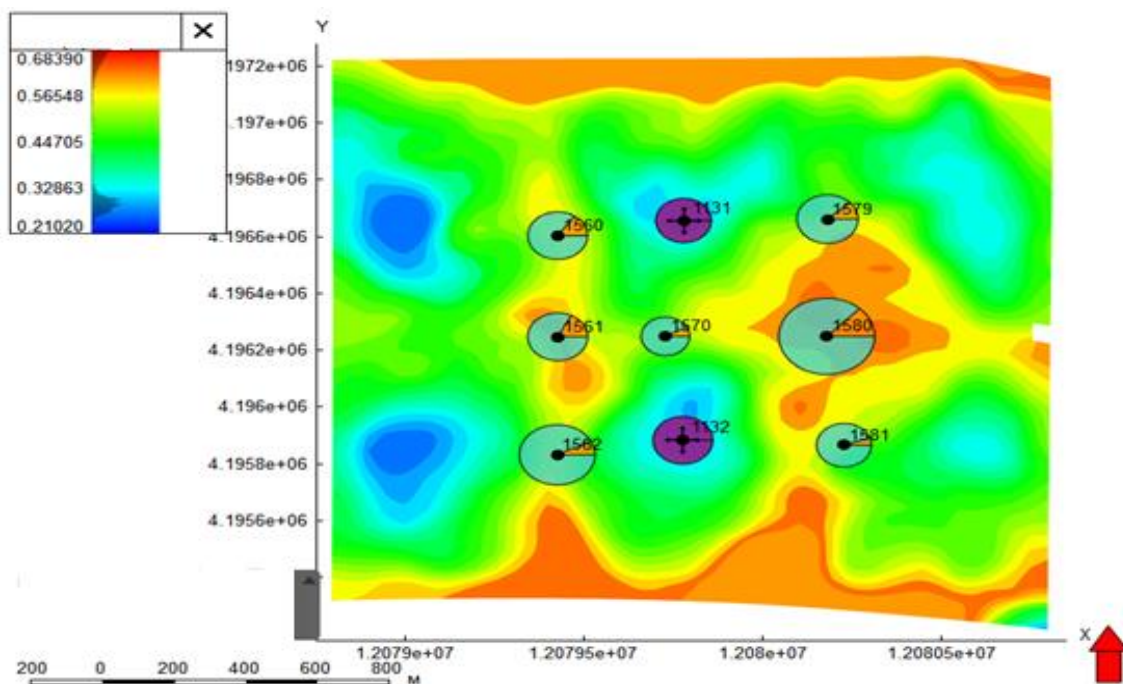
10 жылға арналған болжам 3 нұсқада қарастырылды:

1 нұсқа – 1131 және 1132 ұңғымаларына су айдау;

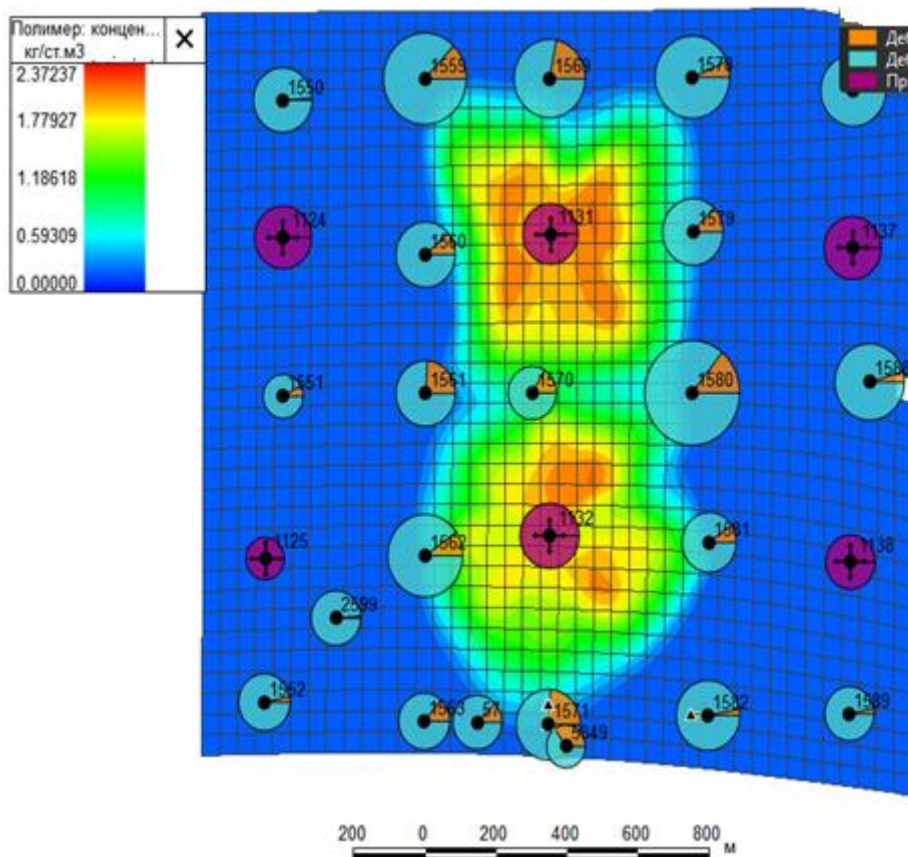
2-нұсқа – 1131 және 1132 ұңғымаларына 2,5 мг/л концентрациясымен полимерді айдау;

3 нұсқа – 1131 және 1132 ұңғымаларына жарты жыл кезеңділігімен полимерлер мен газды кезектестіріп айдау.

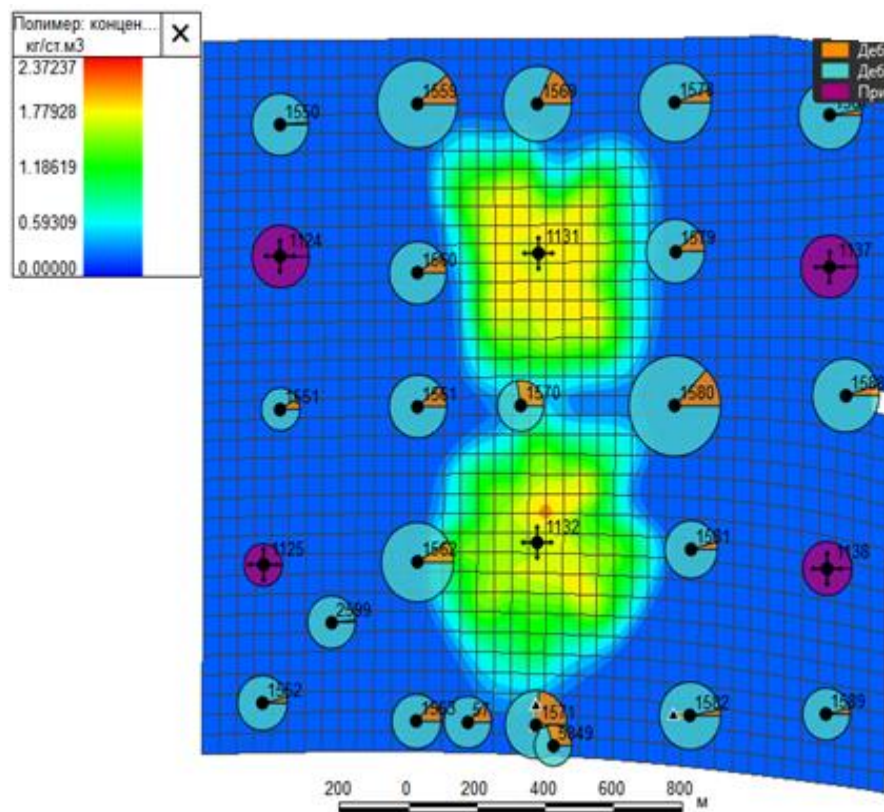
Кешенді әдісіміздің техникалық бағалау нәтижелері моделдеу арқылы болжам мәндері бойынша анықталды және олар 3.16-3.19 суреттерінде көрсетілген.



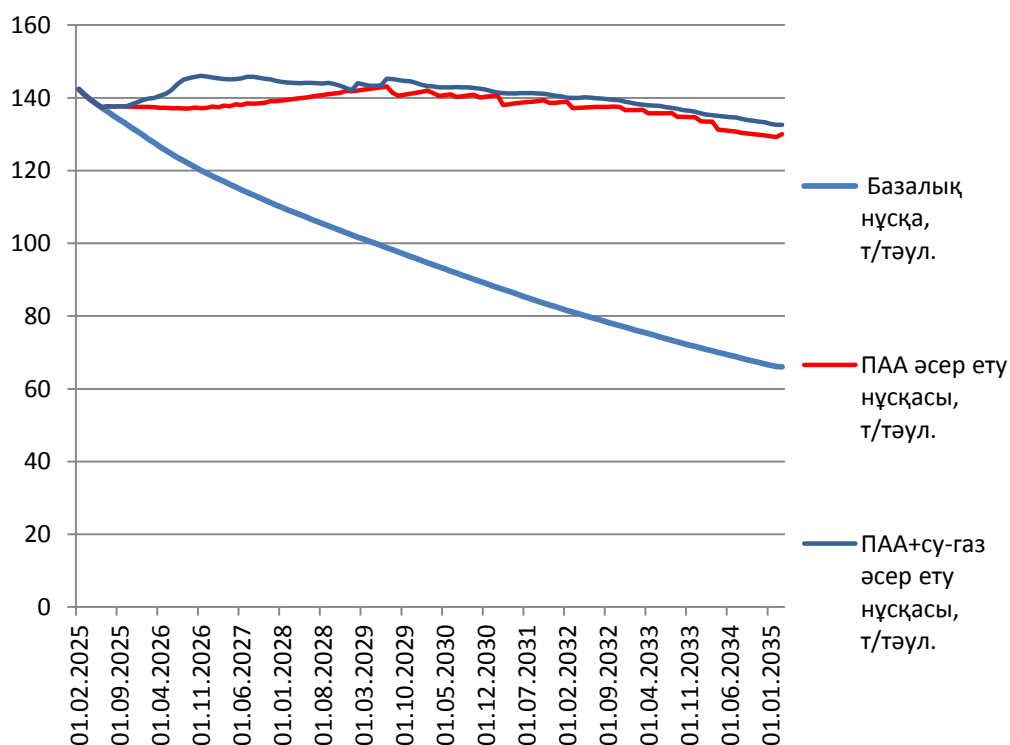
Сурет 3.16 – Ағымдағы қанығу картасы



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 айдау) арқылы қосымша 151,640 мың тонна мұнай өндірілсе, ал үшінші нұсқа бойынша (полимер-газды кезектестіру) қосымша 162,897 мың тонна мұнай алуға мүмкіндік берді. Техника-экономикалық талдау көрсеткендей, ұсынылған әдістердің көмегімен мұнай көлемінің артқаны көрсетілді. Зерттеудің басты мақсаты – мұнай өндіруді қарқынын жеделдетуге мүмкіндік беретін ең тиімді әдісті 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 – ПAA+су-газ әсер ету әдісі арқылы алынған мұнай өнімі, т;

ΔA – ПAA+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, $\mathcal{Ш}_1$ – ПAA әдісі арқылы 1 тонна мұнай өндіруге жұмсалынған шығын, теңге;

Ш₂ – ПАА және су-газ әсер ету әдісі арқылы 1 тонна мұнай өндіруге жұмсалынған шығын, теңге;

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

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

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

Талданып отырған 10 жылдық кезеңнің техникалық-экономикалық нәтижелері көрсеткендей, зерттеліп отырған учаскеде ПАА+су-газ әсер ету әдісінің технологиясын қолдану экономикалық тиімді болып табылатынын көрсетеді.

3-бөлім бойынша қорытынды

Қорытындылай келе, [79, б.23; 80, б.21; 81, б.20] жұмысының негізінде бағалау кешенді әдісі жүзеге асырылды. Әдістің мәні келесідей болды: №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 мұнайбергіштік коэффициенті 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.

Қарапайым сызықтық регрессияны қолдану мүмкін болғанымен, бұл әдіс моделдеуді корреляциялықсыз талдау қажеттілігін нақты көрсете алмайды. Сонымен қатар, реакция мен түсіндірме айнымалылары арасында байланыс болған жағдайда, әртүрлі әдістер бірдей байланысты әртүрлі көрсеткіштермен сипаттауы мүмкін. Мысалы, бір фактордың екі түрлі концентрациясында байқалатын сызықтық тәуелділік түрлі көрсеткіштер арқылы берілуі ықтимал. Осыған байланысты, жоспарланған эксперименттерде қолданылатын күрделі регрессиялық талдау мұнай өндіру әдістерінің тиімділігін неғұрлым дәл бағалауға мүмкіндік береді.

Болжау мәндеріне сүйене отырып, үш түрлі әдіс нұсқасы қарастырылды. Жүргізілген бағалау нәтижелері бойынша, 10 жылдық кезең ішінде 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. Зертханалық сынақтар нәтижелері бойынша 1,5 г/л концентрациясындағы R-1 және GL-50 маркалы полимерлердің сіңіргіштік қасиеттеріне байланысты мұнай ығыстыру коэффициенттері анықталды. Полимерлерді сынау нәтижелері бойынша R-1 маркалы полимерді пайдалану арқылы мұнай ығыстыру коэффициенті 0,667, ал GL-50 маркасы үшін – 0,592 тең болды. Полимерлерді айдаудың бастапқы кезеңдерінде ығыстыру коэффициенттерін салыстыру нәтижесінде R-1 маркалы полимердің мұнайды ығыстыру динамикасы GL-50-ге қарағанда артық екенін көрсетті. Аталған құбылыс R-1 маркалы полимерді пайдаланған жағдайда зерттеу үлгісінің барлық көлденең қимасы бойынша мұнайдың біркелкі ығыстырылуымен түсіндірілді. Ал GL-50 маркалы полимерді қолданғанда мұнай бастапқыда ірі кеуекті арналары арқылы ығыстырыла бастайды. Зертханалық зерттеулер негізінде жоғары тұтқырлы мұнай кеніштеріне R-1 полимерін айдау ұсынылды.

2. Біртекті емес қатпарлы қабаттардың құрылымын ескере отырып, полимер мен католит негізіндегі 0,25% концентрациялы ерітінді композициясының әсер ету технологиясы жетілдірілді. Аталған композицияның мақсаты – мұнайдың реологиялық қасиеттерін өзгерту арқылы мұнайбергіштік коэффициентін арттыруға бағытталды. Жүргізілген зертханалық сынақтардың нәтижесінде, бұл технологияны біртекті және біртекті емес қатпарлы қабатта қолдану кезінде мұнайбергіштік коэффициенті дистилденген сумен және ПАА ерітіндісі айдалған жағдаймен салыстырғанда 8%-ға өскені анықталды.

3. Эксперименттерді жоспарлау барысында регрессиялық және корреляциялық талдау әдістерін қолдану мүмкіндігі көрсетілді. Бұл әдістер тәжірибелік зерттеулердің санын азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, әртүрлі концентрациядағы ПАА жиегінмен мұнайды ығыстыру кезінде мұнайбергіштік коэффициентін анықтауға негіз болады.

4. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде 0,5% концентрациядағы ПАА және су-газ әсерін біріктіретін кешенді ықпал ету әдісі ұсынылды. Бұл әдіс жоғары тұтқырлы мұнай кен орындарында мұнайбергіштік коэффициентін 32,9%-ға арттыруға мүмкіндік береді.

5. Екі ұңғыма бойынша ПАА және су-газ әсер ету әдісінің тиімділігі болжау көрсеткіштері негізінде бағаланды. Зерттеу нәтижелері бұл технологияны қолдану қосымша 162 897 мың тонна мұнай өндіруге мүмкіндік беретінін және оның экономикалық тиімділігі 640,681 мың теңгені құрайтынын көрсетті. Техника-экономикалық тиімділік көрсеткіштерінің бағалануы және ұсынылған кешенді әдістің мұнай өндіру көлемін арттыруға ықпал ететінін көрсетті.

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. – 1970. - 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., Kiynov 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 Абиров Р.Ж., Мухамедова А.Г., Панабеккызы Б., Еремин Н.А., Абиров Ж.Ж., Нестеркин А.А.Опытно-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 PetroleumEngineers. – 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 EuropeanAssociation 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*. – 2011. - 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. OffshoreTechnology 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 CaseStudy 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 (cEQR) –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 Гиматулинов 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 (сEOR) 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



ҚОСЫМША Б
Сертификат



ҚОСЫМША В

Ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін өндіріске енгізу туралы акті



АКТ

О реализации научных результатов, полученных в диссертации на соискание ученой степени доктора философии Хадиевой Әлбиной Сагингалиевны

Комиссией в составе представителей начальника отдела геологии АО «Ушкую» Мұрабек Ж.И., ведущего геолога АО «Ушкую» Бекешовой Ж.Б. и Phd докторанта Каспийского университета технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова Хадиевой Ә.С. составлен настоящий акт о внедрении на месторождении Северо-Западный Жетыбай комбинированную технологию воздействия на слоисто-неоднородные пласты, представляющей композицию оторочки раствора ПАА, ПАА+ водогазовая смесь. Данная композиция направлена на изменение реологических характеристик нефтей с целью увеличения коэффициента нефтеотдачи. За счет применения данной технологии в слоисто-неоднородном пласте среднее значение КИН повысилось на 8%.

Широкомасштабное применение инновационных технологий повышения нефтеотдачи пластов, основанных на эффективном снижении остаточной нефтенасыщенности при вытеснении нефти вязкими жидкостями, обеспечит длительную поддержку стабильной добычи из большинства нефтяных месторождений, находящихся на поздней стадии разработки.

Начальник отдела геологии АО «Ушкую» _____ Мұрабек Ж.И.

Ведущий геолог АО «Ушкую» _____ Бекешова Ж.Б.

Phd докторант Каспийского университета технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова _____ Хадиева Ә. С.

ҚОСЫМША Г

Ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін оқу үдерісіне енгізу туралы акті



«БЕКІТЕМІН»

Ш.Есенов атындағы КТИУ

Академиялық жұмыс жөніндегі

Вице-президент

Макулов Қ.Қ.

04 2024 ж.

Ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін оқу үдерісіне енгізу туралы

АКТ

«6D070800 – Мұнай газ ісі» мамандығының докторанты А.С. Хадиеваның «Тұтқырлығы жоғары мұнай кенорындарында физико-химиялық әсер ету технологияларының тиімділігін арттыру» тақырыбындағы зерттеу жұмысының нәтижелері «6B07210, 7M07210 – Мұнай газ ісі, Мұнай газ инжинирингі» мамандықтарының «Мұнайбергіштікті арттыру техникасы мен технологиясы», «Мұнай өндіруді қарқынлату» пәндері құрамына кіріктіріліп, оқу үдерісіне енгізілді.

«Мұнайхимиялық инжиниринг»
кафедрасының меңгерушісі

Табылганов

М.Т.Табылганов

«Мұнайхимиялық инжиниринг»
кафедрасының қауымдастырылған
профессоры

Нуршаханова

Л.К.Нуршаханова