

УДК 622.280; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-5.05>

<https://orcid.org/0000-0002-4776-2251>;

<https://orcid.org/0000-0003-2783-469X>;

<https://orcid.org/0000-0003-3459-0513>

<https://orcid.org/0000-0003-1588-3144>

<https://orcid.org/0000-0002-5615-2711>

<https://orcid.org/0000-0003-1721-119X>

<https://orcid.org/0000-0002-4258-7933>

<https://orcid.org/0000-0003-3807-2774>

<https://orcid.org/0000-0002-3622-2356>

КЕН ОРЫННЫҢ ЖЕКЕ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІНЕ ЖӘНЕ ИГЕРУ ЖАҒДАЙЫНА БАЙЛАНЫСТЫ ПОЛИМЕРЛІ СУЛАНДЫРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІ



М.Д. БИСЕНГАЛИЕВ¹,

техника ғылымының кандидаты,
қауымдастырылған профессор,
maks_bisengali@mail.ru



Г.Ш. ДОСКАЗИЕВА¹,

техника ғылымының кандидаты,
қауымдастырылған профессор,
doskaziyeva.gulsin@gmail.com



А.Р. ТОГАШЕВА²,

техника ғылымының кандидаты,
қауымдастырылған профессор,
aliya.togasheva@yu.edu.kz



М.Д. САРБОПЕЕВА²,

Phd докторы,
қауымдастырылған профессор,
manshuk.sarbopayeva@yu.edu.kz



М.Т. ТАБЫЛГАНОВ²,

техника ғылымының кандидаты,
қауымдастырылған профессор,
taxat.tabylganov@yu.edu.kz



М.К. УРАЗГАЛИЕВА¹,

Yessenov University
докторанты,
mira_090578@mail.ru

Г.Г. АБДЕШОВА¹, техника ғылымының кандидаты, аға оқытушы, gulya6320@mail.ru
Р.У. БАЯМИРОВА², техника ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор, ryskol.bayamirova@yu.edu.kz
А.Т. ЖОЛБАСАРОВА², техника ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор, aigul.gusmanova@yu.edu.kz

¹С. ӨТЕБАЕВ АТЫНДАҒЫ АТЫРАУ МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ УНИВЕРСИТЕТИ,
Қазақстан Республикасы, 060027, Атырау қаласы, Баймұханов көшесі, 45а

²Ш. ЕСЕНОВ АТЫНДАҒЫ КАСПИЙ МЕМЛЕКЕТТІК ТЕХНОЛОГИЯ
ЖӘНЕ ИНЖИНИРИНГ УНИВЕРСИТЕТИ,
Қазақстан Республикасы, 130000, Ақтау қаласы, 32 мкр.

Полимерлі суландырудың кең таралуы оның артықшылықтарына байланысты. Бұл әдіс біркелкі емес өткізгіштігі, қасиеттері мен коллекторлық құрылымы әртүрлі кен орындарын игерудің әртүрлі кезеңдерінде мұнай өндіруге өте ыңғайлы, реагенттердің аз шығындарымен жүзеге асырылады, қымбат және күрделі жабдықты қолдануды қажет етпейді. Жоғары температурада полимер ерітінділерінің тұрақтылығының төмендеуі (термиялық ыдырау) және қабат сұйықтықтарының минералдануы сияқты әдістің кемшіліктері, әдетте, полимердің құрамын мұқият таңдау арқылы жойылады.

Мақалада қолданылатын реагенттердің қасиеттері дәрежесін анықтау үшін полимерлі суландыру технологиясының тиімділігі қарастырылады. Осы мақсатта нақты бір кен орнын игерудің жеке ерекшеліктері мен жағдайын ескере отырып қолданылуы тиіс реагенттер анықталды.

Тұтқырлықтың полимер концентрациясына тәуелділігін анықтау бойынша зерттеулер жүргізіліп, сондай-ақ бір тәулік ішінде полимер ерітінділерінің тұтқырлығы анықталды. Зерттеу нәтижесінде судағы темірдің концентрациясы 1 ppm төмен, бұл қолайлы, ал суда оттегі жоқ екені анықталды.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: сүзу моделі, мұнайдың қалдық қоры, полимерлі суландыру, технологияны қолдану учаскелері, технологиялық тиімділік.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И СОСТОЯНИЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

М.Д. БИСЕНГАЛИЕВ¹, кандидат технических наук, ассоц. профессор, maks_bisengali@mail.ru
Г.Г. АБДЕШОВА¹, кандидат технических наук, старший преподаватель, gulya6320@mail.ru

Г.Ш. ДОСКАЗИЕВА¹, кандидат технических наук, ассоц. профессор, doskaziyeva.gulsin@gmail.com

Р.У. БАЯМИРОВА², кандидат технических наук, ассоц. профессор, ryscol.bayamirova@yu.edu.kz

А.Р. ТОГАШЕВА², кандидат технических наук, ассоц. профессор, aliya.togasheva@yu.edu.kz

М.Д. САРБОПЕЕВА², доктор Phd, ассоц. профессор, manshuk.sarbopeyeva@yu.edu.kz

А.Т. ЖОЛБАСАРОВА², кандидат технических наук, ассоц. профессор, akshyryn.zholbassarova@yu.edu.kz

М.Т. ТАБЫЛГАНОВ², кандидат технических наук, ассоц. профессор, taxat.tabylganov@yu.edu.kz

М.К. УРАЗГАЛИЕВА¹, Yessenov University докторанты, mira_090578@mail.ru

¹НАО «АТЫРАУСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА ИМ. САФИ УТЕБАЕВА»,
Республика Казахстан, 060027, г. Атырау, ул. М. Баймұханова, 45а

²КАСПИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИИ И ИНЖИНИРИНГА ИМ. Ш. ЕСЕНОВА,
Республика Казахстан, 130000, г. Ақтау, 32 мкр

Широкое распространение полимерного заводнения обусловлено его достоинствами. Метод хорошо подходит для извлечения нефти в условиях различных стадий разработки месторождений с неравномерной проницаемостью, различных по свойствам и строению коллекторов, осуществляется при небольших расходах реагента, не требует применения дорогостоящего и сложного оборудования. Недостатки метода такие, как снижение стабильности растворов полимеров при высоких температурах (термическая деструкция) и минерализации пластовых флюидов, как правило, устранимы за счет тщательного подбора состава полимерной композиции.

В статье рассмотрена эффективность технологии полимерного заводнения для определения степени свойства используемых реагентов. Для этого были определены реагенты которые должны осуществляться с учетом индивидуальных особенностей и состояния разработки конкретного месторождения.

Проведены исследования по определению зависимости вязкости от концентрации полимера, а также определены вязкость растворов полимера в течение одних суток. При исследовании обнаружено, что концентрация железа в воде ниже 1 ppm, что является приемлемым, что кислород не присутствует в воде.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фильтрационная модель, остаточные запасы нефти, полимерное заводнение, участки применения технологии, технологическая эффективность.

THE EFFECTIVENESS OF POLYMER FLOODING TECHNOLOGY DEPENDS ON THE INDIVIDUAL CHARACTERISTICS AND THE STATE OF FIELD DEVELOPMENT

M.D. BISSENGALIYEV¹, Ph. Sci, Associate Professor, maks_bisengali@mail.ru

G.G. ABDESHOVA¹, Ph. Sci Associate Professor, gulya6320@mail.ru

G.SH. DOSKAZIEVA¹, Ph. Sci Associate Professor, doskaziyeva.gulsin@gmail.com

R.Y. BAYAMIROVA², Ph. Sci, Associate Professor, ryskol.bayamirova@yu.edu.kz

A.R. TOGASHEVA², Ph. Sci, Associate Professor, aliya.togasheva@yu.edu

M.D. SARBOPEYEVA², Ph. Sci, Associate Professor, manshuk.sarbopeyeva@yu.edu.kz

A.T. ZHOLBASAROVA², Ph. Sci, Associate Professor, akshyryn.zholbassarova@yu.edu.kz

M.T. TABYLGANOV², Ph. Sci, Associate Professor, maxat.tabylganov@yu.edu.kz

M.K. URAZGALIYEVA¹, doctoral student, Yessenov University, mira_090578@mail.ru

¹ATYRAU UNIVERSITY OF OIL AND GAS NAMED AFTER S.UTEBAEV,
Baimukhanova st 45a, Atyrau, 060027, Republic Kazakhstan

²CASPIAN STATE UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES
AND ENGINEERING NAMED AFTER S.YESSENOV,
32 md Aktau, 130000, Republic Kazakhstan

Polymer flooding is widely used due to its advantages. The method is well suited for oil recovery at various stages of field development with uneven permeability, different reservoir properties and structure; it is carried out at low reagent flow rates and does not require expensive and complex equipment. The disadvantages of the method, such as decreased stability of poly-mer solutions at high temperatures (thermal destruction) and mineralization of formation fluids, are usually eliminated by careful selection of polymer composition.

The article considers the efficiency of polymer flooding technology to determine the degree of properties of the reagents used. For this purpose, the reagents were determined, which should be carried out taking into account individual features and the state of development of a particular field.

Studies were conducted to determine the dependence of viscosity on polymer concentration, and the viscosity of the polymer solutions were determined for one day. The study found that the iron concentration in the water is below 1 ppm, which is acceptable that oxygen is not present in the water.

KEY WORDS: Filtration model, residual oil reserves, polymer flooding, areas of technology application, technological efficiency.

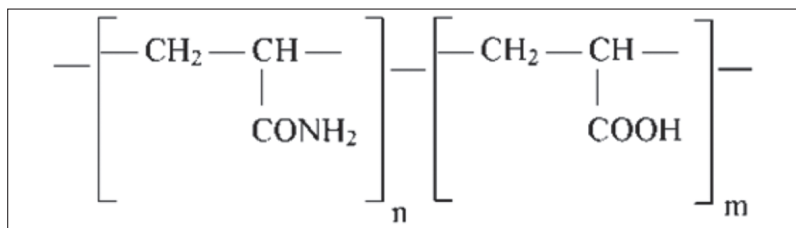
Кіріспе. Полимерлердің негізгі қасиеті суды қоюландыру болып табылады, бұл қабаттағы мұнай мен су тұтқырлықтарының арақатынасының төмендеуіне және тұтқырлықтың айырмашылығына немесе қабаттың біртекті болмаушылығына байланысты судың бұзып өту жағдайларының төмендеуіне әкеледі. Сонымен қатар, тұтқырлығы жоғары полимер ерітінділері кеуекті ортадан тек мұнайды ғана емес, сонымен қатар байланысқан қабат суларын да жақсы ығыстырады.

Сондықтан олар кеуекті ортаның қаңқасымен, яғни тау жынысымен және цементті затпен әрекеттеседі. Бұл полимер молекулаларының адсорбциясын тудырады, олар ерітіндіден кеуекті ортаның бетіне түсіп, арналарды бітеп тастайды немесе олардағы судың сүзілуін нашарлатады. Адсорбция мөлшеріне судың минералдануы және тау жынысының минералды құрамы үлкен әсер етеді. Адсорбцияны азайту үшін тұщы су жиегін жасау қажет. Бұл жағдайда сумен шайылған қабаттарда адсорбцияның рөлі оң айқынды, өйткені ол өткізгіштіктің төмендеуіне және қабылдау профилинің теңестірілуіне әкеледі.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Полимерлі суландыру технологиясы алғаш рет шамамен 70 жыл бұрын жүзеге асырылды. Қалыңдатқыш полимерлер ретінде ең басынан синтетикалық акриламидті полимерлер таңдалды. Балама ретінде басқа суда еритін полимерлер қарастырылды: табиғи (целлюлоза туындылары, биополимерлер, полисахаридтер негізінде) және басқа да синтетикалық полимерлер, ең алдымен полиоксиэтилен [1].

Шетелде және Ресейде жүргізілген көптеген зертханалық зерттеулер мен тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар суда еритін полимерлердің аталған кластарының барлығы белгілі бір сипаттамалары (технологиялық, техникалық, экономикалық) бойынша акриламидтің синтетикалық полимерлерінен төмен екенін көрсетті. Сондықтан полимерлі суландыру технологиясы үшін қолайлы полимерлер нарығы негізінен қосылыстардың осы класымен ұсынылған. Басқа биологиялық немесе синтетикалық полимерлер тек өзгертуші қоспалар ретінде қарастырылады.

Гидролизденген полиакриламидтің құрылымдық формуласы *1-суретте* көрсетілген.



1 сурет – Гидролизденген полиакриламидтің құрылымдық формуласы

мұндағы $(n+m)$ полимерлену дәрежесін білдіреді, ал $a_{\text{гидр}}$ гидролиз дәрежесі функционалдық топтардың жалпы санынан карбоксилдің мольдік үлесін сипаттайды.

$$a_{\text{гидр}} = \frac{m}{m+n} \quad (1)$$

Мұнай өндіруде суды қоюландырғыш ретінде қолданылатын акриламид полимерлеріне қойылатын техникалық талаптардың жиынтығы *1-кестеде* берілген.

1-кесте – Полимерлі суландыру технологиясына арналған акриламид полимерлеріне қойылатын техникалық талаптар

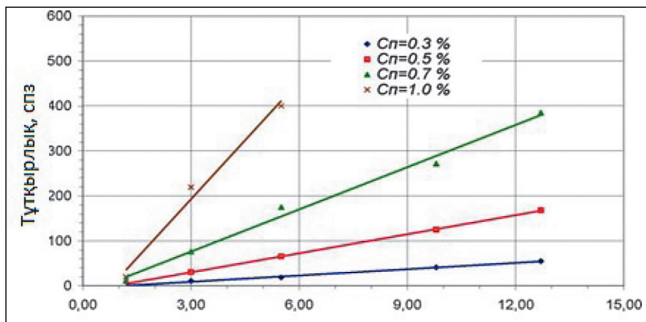
№	Көрсеткіштер атауы	Өлшем бірлігі	Норма
1	Тауар нысаны	-	порошок
2	Ұнтақ дисперсиясы: - бөлшектердің мөлшері 0,25 мм-ден аз фракциялар - бөлшектердің мөлшері 1,0 мм-ден асатын фракциялар	% масса	10 артық емес
3	Негізгі заттың құрамы	% масса	кем дегенде 90
4	Акриламидтің құрамы	% масса	0,1 артық емес
5	Сипаттамалық тұтқырлық	дл/г	15 - 20
6	Карбоксил топтарының құрамы	% моль	5 - 30
7	Еріту уақыты: - тұщы суда - тұзды суда	мин	60 артық емес 240 артық емес
8	Ерімейтін қалдық	% масса	0,3 артық емес
9	Кеуекті ортадағы полиакриламид ерітінділерінің сүзгіштігі		кем дегенде 5
10	Полиакриламидтің механикалық бұзылған ерітінділеріне төзімділік факторы		кем дегенде 5
11	Қалдық кедергі коэффициенті		кем дегенде 2
12	Жылу тотығу деструкциясына төзімділік коэффициенті		кем дегенде 0,8
13	Полимердің сақтау мерзімі	ай	кем дегенде 12
14	Полимер ерітінділері (айдалатын сумен салыстырғанда) жабдықты коррозияға ұшыратпауы керек		

Ескерту: ерекше жағдайларда сүзгіштігі кемінде 1 (қанағаттанарлық) болуға жол беріледі

Молекулалық сипаттамалардан 1-кестеде карбоксил топтарының сипаттамалық тұтқырлығы мен мазмұны (гидролиз дәрежесі) көрсетілген.

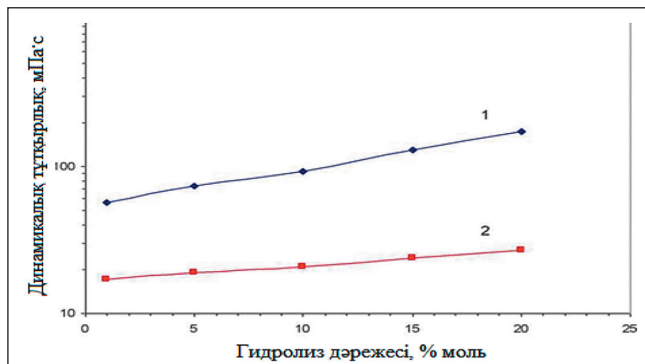
Әдетте өндірушікомпанияполимерлерді гидролиз дәрежесі мен молекулалық салмағымен сипаттайды.

Меншікті тұтқырлық (немесе тұтқырлықтың шекті саны) Марк-Кун-Хаувинк теңдеуінің молекулалық салмағымен байланысты. Полимердің қоюлану қабілеті, яғни таза судың тұтқырлығымен салыстырғанда полимер еріген судың тұтқырлығының жоғарылауы полимердің молекулалық салмағына және оның концентрациясына байланысты. Бұл тәуелділік 2-суретте көрсетілген.



2 сурет – Полиакриламид ерітінділерінің тұтқырлығының молекулалық салмаққа тәуелділігі

Сонымен қатар, тұтқырлық зарядталған карбоксил топтарының есебінен полиэлектролиттік ісіну нәтижесінде артады, гидролиз дәрежесінің жоғарылауымен артады. 3-суретте гидролиз дәрежесінің өзгеруімен тұтқырлықтың өзгеруі көрсетілген.



3 сурет – ПАА гидролиз дәрежесінің (ММ=15 млн.) ерітінділердің тұтқырлығына әсері

Sp=0,2 %; ығысу жылдамдығы 6,1 с⁻¹; t=60°C, 1 – тұщы су; 2- минералды су

Полиэлектролиттердің ісінуінің әсері минералдануы төмен тұщы суларда айқын көрінеді. Минералданудың жоғарылауымен, яғни. электролиттер болып табылатын еритін тұздардың концентрациясы, полиэлектролиттің ісінуін басу есебінен полимер ерітіндісінің тұтқырлығы төмендейді [2-4].

Өнеркәсіптік полимерлердің молекулалық массаларының диапазоны (ММ) айтарлықтай кең, 200 мыңнан 30 миллионға дейін аралықта. Дәл осындай жағдай 0-ден 60%-ға дейін өзгеретін гидролиз дәрежесіне (агидр) қатысты.

Полимерлі суландыру технологиясы үшін жоғары молекулалық салмағы мен гидролиз дәрежесі бар полимерлерді пайдалану тиімді. Полиакриламид (ПАА) - суда еритін акриламид негізіндегі полимерлердің жалпы атауы, олар анионды флокулянттар санатына жатады. Бұл өнім өнеркәсіптік өндірістерде кеңінен қолданылады. ПАА-түссіз акриламид кристалдарымен біріктірілген полимер. Өнеркәсіптік мақсаттар үшін ПАА ішінара гидролизденеді. Флокуляция сияқты процесс үшін полиакриламид өндірісі қажет.

Бұл дисперсті фазаның ұсақ бөлшектері үлпек (флокулылар) түріндегі борпылдақ шоғырларға айналатын сулы немесе газ тәрізді ортада жүретін реакция. Осылайша, флокулянттар қатты және сұйық фазаларды ажыратады. Полимерлерді еріту процесі айдау сызығында жүреді, оған полимерді мөлшерлейтін түйінінен айдау ұңғымаларының сағасына дейінгі жерасты құбырлары кіреді. Полимерлі суспензияны айдау, содан кейін еріту, көп жағдайда сорапты-компрессорлық құбырлар арқылы жүреді. Құбырлы кеңістік арқылы айдауды қозғалыс уақытын ұлғайту және сәйкесінше полимердің еруін арттыру мақсатында пайдалануға болады [5-8].

1-кестеде көрсетілгендей, акриламид полимерлеріне қойылатын технологиялық талаптар ұнтақ тәрізді полимердің тұщы суда еру уақыты 60 минуттан, минералданған суларда 240 минуттан аспауын қамтамасыз етеді.

Полимерлермен әдеби деректер мен зерттеу жұмыстарын талдау зертханалық жағдайда анықталған коммерциялық жоғары молекулалы полиакрил-мидтердің

көпшілігінің еру уақыты полимердің еруінің нормативтік уақытына жеткілікті жақын екенін көрсетті.

Әдебиет деректері мен полимерлермен жүргізілген зерттеу жұмыстарын талдау зертханалық жағдайда анықталған коммерциялық жоғары молекулалы полиакриламидтердің көпшілігінің еру уақыты полимердің нормативтік еріту уақытына біршама жақын екенін көрсетеді.

Тұздармен және басқа да төмен молекулалық реагенттермен салыстырғанда полимерлердің еру ұзақтығы полимердің ерекше жоғары молекулалық массасына және сәйкесінше макромолекулалардың үлкен ұзындығына байланысты.

Полимердің еру процесі 2 кезеңнен өтеді: полимер бөлшектерінің ісінуі және шын мәнінде еру—бұл полимердің ісінген бөлшектерінің ерітіндіге ауысуы. Бірінші кезең ұзағырақ және диффузиялық процестермен анықталады.

Жоғары молекулалы полиакриламидтердің еру процесінің кинетикасы көптеген маркалары үшін шамамен бірдей. Еріту кинетикасы полимерді еріту процесінде ерітіндінің динамикалық тұтқырлығының сипатты өзгеруін сенімді түрде сипаттайды. Полимерлі суландыру технологиясын әзірлеу мен енгізу бойынша жинақталған және кәсіпшілік тәжірибе көрсеткендей, көп жағдайда (полимерлердің көптеген коммерциялық маркалары үшін) полимердің еру уақыты белгілі бір кен орнында полимерлі суландыру технологиясында ұнтақты полимерлерді қолдануды шектейтін параметрлер қатарына жатпайды.

Полимерді мөлшерлеу түйінінен ұңғыма түбіне дейін полимер суспензиясының қозғалу уақыты аз болатын кен орындарында технологияны енгізу кезінде белгілі бір қиындықтар туындауы мүмкін (мысалы, таяз қабаттарды полимермен суландыру кезінде, полимерді мөлшерлеу түйіні полимер айдалатын ұңғымаға жақын орналасқанда).

Бұл жағдайда толық ерітуге қол жеткізу үшін арнайы қондырғыларда (орамдарда немесе ерітуге арналған контейнерлерде) полимерді қосымша ерітуді қамтамасыз ететін қондырғыларды пайдалану қажет.

Сондай-ақ еріту процесін жеделдетуге бағытталған арнайы технологиялық әдістерді қолдануға болады, мысалы, ұнтақтағы полимерді ыдыратушы ретінде әрекет ететін төмен молекулалық салмақты заттарды (мысалы, минералды тұздар) пайдалану. Дезинтегранттың тез еруі полимердің сумен беткі байланысының жоғарылауына және полимердің ісіну және еру процестерінің жеделдеуіне әкеледі. Алайда, мұндай әдістерді енгізу процесстің күрделенуіне және технология құнының өсуіне әкеледі.

Сондай-ақ, 39-0148311-206-85 нұсқаулық құжатына сәйкес зертханалық жағдайда алынған полимерлердің белгілі бір суда еру кинетикасы мен уақыты туралы деректер полимерлердің нақты жағдайларда еру уақытынан айтарлықтай ерекшеленетінін ескеру қажет.

Полимерлі композициялар қозғалысының технологиялық желісі бойынша сынамалар ала отырып, полимерлі суландыру технологиясын және полимерлік жүйелерді қолдану технологиясын енгізу процесінде көптеген зерттеулер кәсіпшілік жағдайларда еріту уақыты зертханалық жағдайларға қарағанда 2-3 есе аз екенін көрсетеді.

Біздің ойымызша, зертханалық тәжірибелер мен әдебиет деректерді талдау—бұл жоғары молекулалық полимерлердің еруінің диффузиялық механизміне байланысты айырмашылық.

Полимер ұнтағының жеке бөлшектері пішіні бойынша сфераға жақын, бөлшектердің көпшілігінің диаметрі 0,2-0,4 мм аралығында. Үлкенірек бөлшектердің болуы полимердің еру уақытын арттырады, ұсақ бөлшектер шанды фракцияға жағарды, олардың үлесі техникалық талаптармен шектеледі.

Бөлшектерді инертті сұйықтықпен (изопропил спирті) вакуумда қанықтыру арқылы алынған біздің деректеріміз бойынша ашық кеуектілік шамамен 13% құрайды. Кеуектердің кішігірім мөлшеріне байланысты ішкі каналдардың жалпы беті өте жоғары және сфералық бөлшектің сыртқы ауданынан ондаған-жүздеген есе көп. Зертханалық жағдайда полимер еріген кезде су бөлшектердің сыртқы бетін ылғалдандырады. Полимердің ісіну сатысы полимер мен еріткіш арасындағы жана-су бетінің аздығынан айтарлықтай баяу жүреді. Еріткіштің кеуекті арналар арқылы енуі капиллярлық күштердің қарсы әрекетіне байланысты қиын [7,9].

Кәсіпшіліктің нақты жағдайында полимерлік суспензия түріндегі полимер бөлшектері сораптың қабылдауына және жоғары қысымды желіге тез түседі.

Қысым бірден дерлік атмосфералық қысымнан бірнеше ондаған кг/см²-ге дейін артады. Бұл қысым айырмашылығында капиллярлық күштер басылады және су полимер бөлшектерінің арналарын толтырады, полимер-еріткіштің жанасу бетін бірнеше рет арттырады және полимердің еру уақытын қысқартады.

Полимерлі қоюландырылған судың тұтқырлық деңгейі негізінен полимерді сулану технологиясының тиімділігін анықтайды. Тұтқырлықтың нақты мәндерін тек зертханалық тәжірибелерден алуға болады.

Біз жүргізілген зерттеулерден полимерлі ерітінділерінің тұтқырлығына полимердің молекулалық сипаттамалары, сондай-ақ еріткіштің минералдануы және температура әсер ететінін білеміз. Жоғары молекулалық салмақты акриламидті полимерлер реологиялық қасиеттерінің көрінісімен, яғни динамикалық тұтқырлықтың ағын режиміне тәуелділігімен сипатталады. Кеуекті ортада полимер ерітінділерінің ағуы кезінде кеуекті ортаның құрылымының сипаты тұтқырлық мәніне де әсер етеді.

Әрине, тұтқырлықтың теориялық моделі шеңберінде осы параметрлердің барлығын ескеру мүмкін емес. Алайда, жуықтаудың үлкен үлесімен стандартты жағдайларда полимер ерітінділердің тұтқырлығы туралы жинақталған деректерді пайдалана отырып, полимерлі ерітінділердің тұтқырлығын есептеуге болады.

Стандарттау еріткіштің минералдануы, температурасы және полимер ерітінділерінің динамикалық тұтқырлығы өлшенетін ығысу жүктемелерінің диапазоны бойынша полимерлерді сынау үшін бірдей шарттарды қарастырады.

Полимерді еріткіш ретінде парафиннің көп мөлшері болатын Батыс Қазақстан кен орны үшін қалдық және теңіз суының үлгісін қолдануға болады.

Полимер ерітінділерінің технологиялық сипаттамалары бойынша жинақталған мәліметтер базасы есеп негізінде, экспериментсіз әртүрлі маркалы полимерлердің ерітінділерінің тұтқырлық мәндерін есептеуге және қоюлану қабілеті жоғары полимерлерді алдын ала таңдауға мүмкіндік береді [9].

Тұтқырлықты есептеу үшін тұтқырлықтың математикалық модельдерін қолдануға болады, мысалы, жоғарыда аталған Хаггинс моделі:

$$\frac{\eta_{\text{отн}}}{c} = [\eta] + K_x \times C \times [\eta]^2 (2)$$

мұндағы η_{mi} – полимер ерітіндісінің салыстырмалы тұтқырлығы;
 c – ерітіндідегі полимер концентрациясы, г/дл;
 K_x – Хаггинс тұрақтысы;
 $[\eta]$ – меншікті тұтқырлық, дл/г және В.П. Будтовтың моделі

$$H_{\max} = H_0 (1 + C[\eta]\gamma)^{1/\gamma} \quad (3)$$

мұндағы H_{\max} – ерітіндінің максималды ньютондық тұтқырлығы, мПа*с,
 H_0 – еріткіш тұтқырлығы, мПа*с,
 c – ерітіндідегі полимер концентрациясы, г/дл;
 $[\eta]$ – берілген еріткіштегі полимердің меншікті тұтқырлығы, дл/г;
 γ – еріткіштің термодинамикалық сапасына байланысты орташа концентрлі ерітіндідегі макромолекулярлық катушкалардың өзара қысылуын сипаттайтын молекулааралық гидродинамикалық әсерлесу параметрі.

Ұсынылған модельдер тұтқырлықтың полимер концентрациясына тәуелділігін көрсетеді. Теңдеулерге сонымен қатар молекулалық салмақтың шамасымен функционалды түрде байланысты болатын сипаттамалық тұтқырлық түріндегі молекулалық сипаттама кіреді (Марк-Кун-Хаувинк теңдеуі жиі қолданылады):

$$[\eta] = K \times M^a \quad (4)$$

мұндағы K , a – эмпирикалық тұрақтылар.

Гидролиз дәрежесінің молекулалық салмаққа әсерін Л.В. Минеевтің жетекшілігімен «Гипровостокнефть» институтында жасалған тәсілді қолдану арқылы есептеуге болады. Жарық шашырау әдісімен молекулалық массаны тікелей өлшеу және меншікті тұтқырлықты параллель анықтау негізінде гидролиздің әртүрлі дәрежесі бар үлгілер келесі қатынаста алынды:

$$[\eta] = \frac{\sqrt{2}}{c} \times \sqrt{\eta_{ioi} - 1} - \ln \eta_{ioi} \quad (5)$$

Осылайша, белгілі бір маркалы полимердің молекулалық сипаттамалары туралы паспорттық деректерге ие бола отырып, полиакриламидтің әртүрлі концентрацияларындағы тұтқырлықты шамамен есептеп, қажетті концентрация деңгейін таңдауға болады.

Жоғарыда келтірілген формулалар арқылы жүргізілген есептеулер ығысу жылдамдығының тар аймағына байланысты тұтқырлық мәндерін береді. Акриламидті полимерлер, әсіресе жоғары молекулалық полимерлер, реологиялық қасиеттердің өте айқын көрінісімен сипатталады, яғни динамикалық тұтқырлықтың ығысу жылдамдығына тәуелділігі.

Бүкіл диапазонда тұтқырлықтың ығысу жылдамдығына тәуелділігі Саггеа теңдеуімен сипатталуы мүмкін:

$$\mu_G = \frac{\mu_{\max}}{[1 + (G \times t_p)^2]^m} \quad (6)$$

мұндағы μ_G – G ығысу жылдамдығы кезіндегі ерітіндінің тұтқырлығы, мПа*с,
 $\mu_{\max} - \mu_{\max} = \mu_G$ шартына сәйкес келетін максималды Ньютон тұтқырлығы, $G = 0$, мПа*с,

t_p – релаксация уақыты, с,

τ – ньютондық емес жағдайдыңкөрініс дәрежесін сипаттайтын ығысу сұйылту көрсеткіші.

Келтірілген Саггеа теңдеуі тек сандық әдіспен шешілуі мүмкін типтік трансценденттік теңдеу болып табылады. Шешімнің дәлдігі көбінесе Ньютон тұтқырлығының мәндері бойынша қолда бар эксперименттік мәліметтерге байланысты. Мұндай деректерді алу 1 с^{-1} -ден төмен ығысу жылдамдығымен өлшеуге мүмкіндік беретін вискозиметрлердің болмауына байланысты әрқашан мүмкін бола бермейді (төмен ығысу вискозиметрлері деп аталады).

Нақты жағдайдағы ең үлкен ньютондық тұтқырлықтың мәндері, яғни белгілі бір қабат жағдайында ешқашан жүзеге асырылмайды. Кеуекті ортада сүзу кезінде нақты ығысу жылдамдығының диапазоны әдетте 1 с^{-1} мәнінен асады.

Полимер ерітінділерін белгілі бір ұңғымаға айдау кезінде жүзеге асырылатын ығысу жылдамдығының нақты мәндерін теңдеуден есептеуге болады:

$$j = v \sqrt{\frac{2m}{k}} \quad (7)$$

мұндағы j – кеуекті ортадағы ығысу жылдамдығы, с^{-1} ,

v – сызықтық сүзу жылдамдығы, м/с,

t – қабаттың кеуектілігі,

k – қабаттың өткізгіштігі, мкм².

Мысалы, қабаттың типтік параметрлері үшін $k < 0,2 \text{ мм}^2$, $t = 0,22$ және қабаттың шалғай аймағындағы сүзу жылдамдығы тәулігіне $0,5 \text{ м}$, сүзу жылдамдығы

$$j = \frac{0,5}{86400} \sqrt{\frac{2 \times 0,22}{0,2 \times 10^{-12}}} = 8,6 \text{ с}^{-1} \quad (8)$$

Жағдайлардың басым көпшілігінде нақты ығысу жылдамдығының диапазоны (орташа және өнім қабатын құрайтын жеке аралық қабаттарда) ағынның псевдопластикалық сипатын көрсететін реологиялық қисық аймағына жатады.

Бұл аймақтың математикалық сипаттамасы трансценденттік теңдеулерді қолдануды қажет етпейді және қарапайым функцияларды (көрсеткіштік, логарифмдік, бірақ барлық дәрежедегі ең жақсы функциялар) қолданған кезде жеткілікті түрде дұрыс сипатталады.

Осылайша, полимердің молекулалық сипаттамалары бойынша төлқұжат деректерін, стандартты жағдайларда полимерлі ерітінділердің реологиялық сипаттамалары туралы мәліметтер базасын, полимер концентрациясы мен кеуекті ортадағы ығысу жылдамдығының функциясы ретінде белгілі бір маркалы полимер ерітінділерінің тұтқырлық қасиеттерінің диапазонын есептеуге болады.

Акриламидтің иілгіш тізбекті синтетикалық полимерлерінің кемшіліктерінің бірі олардың механикалық, термиялық-тотықтырғыштық және биологиялық ыдырауға бейімділігі болып табылады. Деструкция нәтижесінде макромолекулалық тізбектердің үзілуі, полимердің молекулалық салмағының азаюы және нәтижесінде полимерлі реагенттің қоюлану қабілетінің төмендеуі байқалады.

Механикалық бұзылу белгілі бір критикалық мәннен асатын механикалық жүктемелер полимер молекулаларына әсер еткенде орын алады. Жүктеме өлшемі, мысалы, ығысу жылдамдығы болуы мүмкін [10-12].

Сұйықтық дөңгелек көлденең қиманың арналарында ағып жатқанда, ығысу жылдамдығы мына формула бойынша есептеледі:

$$j = \frac{4}{\pi \times r^3} = \frac{8v}{d} \quad (9)$$

мұндағы j – ығысу жылдамдығы, с

Q – көлемдік шығын, м³/с,

v – сызықтық жылдамдық, м/с,

r – арна радиусы, м,

d – арна диаметрі, м.

Жарықтар кезінде ығысу жылдамдығы сызықтық сүзу жылдамдығына пропорционал және сипаттамалық өлшемге кері пропорционал болады:

$$\frac{12v}{b} = j \quad (10)$$

мұндағы b – жарықтардың ені (ашылуы), мм.

Мұнда кеуекті арналардың сипатты мөлшері өткізгіштіктің түбірі болып табылады. Жоғарыда келтірілген формулалардан көрініп тұрғандай, ығысу жылдамдығы сұйықтық қозғалысының сызықтық жылдамдығына пропорционал және өткізгіш арналардың өлшемдеріне кері пропорционал.

Максималды механикалық жүктеме екі сипаттаманы біріктіргенде пайда болады. Механикалық бұзылу нәтижесінде полимердің бұзылуын дроссельдік әсер деп аталатын нәтиже ретінде анық көруге болады, яғни сұйықтықтың жоғары қысымды желіден тар тесіктер арқылы ағуы нәтижесінде байқалады.

Полимерді суландыру технологиясын енгізу кезінде полимерлердің механикалық бұзылуы сораптораптарында (осы себепті полимер жүйелерін айдау үшін ортадан тепкіш сораптарды қолдануға болмайды), құбырларды тарылтуда орын алады.

Кеуекті ортадағы механикалық бұзылу тек ұңғыманың түп маңына жақын аймақта, ұңғыма оқпанынан қысқа қашықтықта болады. Сүзу радиусы ұлғайған сайын сүзу жылдамдығы гиперболалық түрде төмендейді және механикалық бұзылу ықтималдығы нөлге жақындайды.

Осылайша, әдетте жылдар бойы өлшенетін полимерлі суландыру ұзақтығы кезінде бұзылу нәтижесінде полимерлердің механикалық ыдырау процесі өте қысқа және бірнеше сағатты құрайды. Полимерлердің механикалық бұзылуының тағы бір ерекшелігі, бұл процесті зерттеудің ұзақ кезеңінде механикалық бұзылуға төзімділіктің жоғарылауымен немесе осы төзімділікті арттыратын қоспалармен сипатталатын полимерлердің бірде-бір маркасы анықталмады. Әрине, полимерлі суландыру технологиясы үшін перспективалы полимерлердің маркалары механикалық бұзылуға төзімділік үшін сыналуы керек, бірақ бұл сынақ тек эксперименттік болып табылады.

Полимерлердің қолданылуын талдау кезеңінде полимердің молекулалық салмағының жоғарылауымен механикалық ыдырауға ұшырау бейімділігі жоғарылайтынын ескеру қажет.

Молекулалық массаның жойылуға төзімділікке әсер етуінің бұл сипаты тағы бір рет ультра жоғары молекулалық массасы бар полимерді таңдауға мұқият қарау керек екенін көрсетеді. Бұл полимердің еру кинетикасына да, механикалық деструкцияға төзімділігіне де қатысты [13].

Полиакриламидтің молекулалық салмағының жоғарылауы сонымен қатар термиялық-тотықтырғыштық бұзылуға төзімділікті төмендетеді және температураның және тотығу-тотықсыздану қасиеті бар қоспалардың әсерінен ерітінділердің технологиялық қасиеттерінің нашарлауына әкеледі.

Механикалық деструкциядан айырмашылығы, температураның әсерінен термиялық-тотықтырғыштық бұзылу суда, тау жыныстарында және полимердің өзінде болатын белсенді қоспалар ұзақ уақыт бойы жалғасады, бұл полимерді суландырудың бүкіл кезеңі. Сонымен қатар, ерітіндіде болатын және төзімділік факторын тудыратын макромолекулалар ғана емес, сонымен қатар тау жыныстарында адсорбцияланған молекулалар да жойылады, соның салдарынан қалдық кедергі факторы пайда болады.

Механикалық деструкциядан айырмашылығы, термиялық-тотықтырғыштық бұзылу оның жылдамдығын арттыру және азайту бағытында басқарылатын процесс болып табылады. Полимерлердің термиялық-тотықтырғыш бұзылуға төзімділігін арттырудың көптеген жолдары бар, соның ішінде полимер синтезі сатысында. Мұндай әдістерге, атап айтқанда, полимерден белсенді микроқоспаларды жою жатады. Жылу тотықтырғыш деструкция процесі тізбекті радикалды процесс болып табылады.

Бұл процесі белсенді бейорганикалық және органикалық заттардың бастауы мүмкін. Мысалы, шамалы төмен концентрациядағы мыс қоспалары (0,5 мг/л-ден аз) ПАА термиялық-тотығу деструкциясының жылдамдығын бірнеше есе арттыруы мүмкін. Ұзақ уақыт бойы полимер үшін бастапқы реагент (акриламид) мыс катализаторларында алынды. Бұл жағдайда акриламид пен одан синтезделген полиакриламид құрамында мыс қосылыстарының іздері болды, бұл полимердің жойылу жылдамдығының жоғарылауына әкелді. Қазіргі уақытта озық фирмалар биосинтезге негізделген акриламидті алу әдісін қолданады. Одан, тиісінше, мыстың болмауына байланысты ыстыққа төзімді синтезделген полимерлер алуға болады.

Полимерлердің ыдырауға төзімділігін арттырудың тағы бір жолы полимердегі қалдық инициаторды азайту болып табылады.

Полимерлердің деструкцияға төзімділігін арттырудың ең көп таралған әдісі-деструкция тұрақтандырғыштарын қолдану. Ең көп таралған тұрақтандырғыштар құрамында күкірт бар химиялық заттар (дезактиваторлар) - меркаптобензтиазол, меркаптобензимидазол, тиомочевина. Дезактиваторлардың концентрациясы (жеке және синергетикалық қоспалар) әдетте полимер массасының 0,5-1,5% құрайды. Мұндай қоспалар тұщы суда да, минералданған суда да ерітінділердегі полимерлердің ыдырау жылдамдығын айтарлықтай төмендетеді.

Бұл әдістер шамалы, бірақ полимердің құнын арттырады, бірақ ПАА өндірушілерінің барлығы бірдей термиялық-тотықсыздануға төзімділігі жоғары өнімдерді шығармайды. Себебі, жеке компаниялардың полимерлер өндірісінде үнемдеуге деген ұмтылысы ғана емес, сонымен қатар тиімді тұрақтандырғыштарды таңдау физика-химиялық және фильтрациялық зерттеулердің үлкен көлемін қажет етеді.

Алайда, тек аналитикалық тұрғыдан, полимерлерді зерттеу негізінде полимердің тұрақтылығын немесе тұрақсыздығын болжауға болады. Мұнда компанияның имиджі үлкен рөл атқарады. Ыстыққа төзімді полимерді жасау бір жылдық міндет емес. Сондықтан алдыңғы үлгілері жақсы нәтиже көрсеткен фирмаларға артықшылық беру керек. Осы критерий сәйкес - термиялық-тотықтырғыш деструкцияға төзімділік, сондай-ақ механикалық бұзылуға төзімділік, полимердің молекулалық салмағының жоғарылауымен жойылу жылдамдығы жоғарылайтындықтан, жоғары молекулалық полимерлерді таңдауда өте сақ болу керек.

Полиакриламидтің биологиялық жойылуына келетін болсақ, бұл мәселе биотехнологиядан алынған полимерлер, ең алдымен полисахаридтер сияқты өзекті емес. Біздің ойымызша, полимерлердің биодegradациясын төмендету үшін бактерицидтерді қолдану немесе басқа әдістерді қолдану дұрыс емес. Біздің білуімізше, акриламидті полимер өндірушілерінің ешқайсысы технологиялық ерітінділердегі полимерлердің биодegradация процестерін басуға бағытталған полимерге қоспаларды қолданбайды.

Полимерлі суландыру технологиясының тиімділігі негізінен қолданылатын реагенттердің қасиеттерімен анықталады. Реагенттерді таңдау нақты кен орнын игерудің жеке ерекшеліктері мен жағдайын ескере отырып жүргізілуі керек [14,15].

Бірінші кезеңде әсер ету объектісінің жағдайлары үшін ықтимал қолайлы реагенттерді таңдау экономикалық фактор мен реагенттің қолжетімділігін ескере отырып, өндірушілер ұсынатын физика-химиялық қасиеттер туралы деректер негізінде жүзеге асырылады.

Екінші кезеңде полимерлердің неғұрлым стандартты үлгілеріне егжей-тегжейлі зертханалық зерттеулер, оның ішінде типтік схемалар бойынша негізгі сипаттамаларды анықтау жүргізіледі.

Бұл кезеңде келесі физика-химиялық параметрлер анықталады:

- полимер ұнтағының дисперсиясы;
- негізгі заттың құрамы;
- сипаттамалық тұтқырлық;
- гидролиз дәрежесі;
- модельдік суда ерігіштік;
- ерімейтін қалдық;
- еркін көлемдегі ерітінділердің реологиясы.

Екінші кезеңнің нәтижелері бойынша полимерлі суландыру технологиясына арналған полимерлерге қойылатын техникалық талаптарға сәйкес жасанды өзектерді (үйінді және жасанды цементтелген) пайдалана отырып, сүзу сынақтары үшін үлгілер таңдалады.

Соңғы аяқталу кезең - полимерлердің технологиялық ең қолайлы үлгілерін нақтыға мүмкіндігінше жақын жағдайларда егжей-тегжейлі зерттеу. Бұл кезеңде табиғи кендер қолданылады және де алынған нәтижелер технологияны жобалау кезінде тікелей қолданылады. Ерітінділердің негізгі технологиялық сипаттамалары: концентрация, сүзу жылдамдығы және өткізгіштік функциясы ретінде қарсылық факторы және қалдық фактор; полимерлердің адсорбциялық сипаттамалары; кеуекті ортадағы полимерлердің тұрақтылығы.

Жұмыс нәтижесінде полимер үлгілерінің физика-химиялық көрсеткіштері, сондай-ақ қабаттың негізгі сипаттамалары анықталды, ағынды және теңіз суының физикалық қасиеттері мен химиялық құрамы зерттелді. Сәйкес полимерді таңдау 3 негізгі параметрді талдаудан тұрады:

- қабат температурасы;
- өткізгіштігі;
- полимерді еріту және айдау үшін қолданылатын судың минералдануы.

Температура қабатта таралу процесі кезінде ерітіндісі тұрақты болып қала алатын полимердің маркасын таңдау үшін қажет. Өткізгіштік айдау кезінде жақсы қабылдауды және кеуекті арналар арқылы жақсы өткізгіштікті қамтамасыз ету үшін молекулалық салмақты дұрыс сәйкестендіру үшін қажет. Соңғысы, бірақ кем дегенде, полимерлердің әртүрлі түрлерін және судағы полимер тізбектерінің жабыспауын қамтамасыз ету, сондай-ақ тұтқырлықты арттыру үшін гидролиз дәрежесін қарастыру үшін қажет су құрамы болып табылады (2-кесте).

2 кесте – Полимерді таңдау бойынша нұсқаулық

Өнім пішіні	Полимер түрі	Мономер	Полимер мысалы	Ескерту
Ұнтақ	Copolymer	Acrylamide – Sodium Acrylate	Flopaam 3630S-AL-777	T<80°C Орташа кермек су үшін
	Copolymer Post-Hydrolysed	Acrylamide – Sodium Acrylate	Flopaam 6030S	T<75°C Кермектігі төмен суға арналған
	Copolymer	Acrylamide – ATBS	Flopaam AN125SH	T<95°C Судың тұздылығының барлық түрлері
	Terpolymers	Acrylamide- Sodium Acrylate – ATBS	Flopaam 5205SH Flopaam 5205SH	T<90°C Судың тұздылығының барлық түрлері
	Associative polymers	Acrylamide – Sodium Acrylate –hydrophobic monomer	Superpusher C319	Қабат тұрақтылығының жоғары факторы Орташа кермек су үшін
	Terpolymers	Acrylamide-ATBS-NVP	Flopaam SAV225	T<140°C Судың тұздылығының барлық түрлері
Сұйықтық Су/май негізіндегі эмульсия	Copolymers	Acrylamide- Sodium Acrylate	Flopaam EM533	T<80°C Судың орташа қаттылығы

Жоғарыдағы кестеде көрсетілгендей, температура мен минералдану өте маңызды факторларға айналғанда, арнайы мономерлер қосу арқылы полимер ерітінділерін реттеу қажет, мысалы, температура 95°C-тан аспайтын жағдайларда ATBS (Acrylamido-Tertio-Butyl Sulfonate) немесе температура 140°C дейін көтерілген жағдайларда NVP (n-Vinylpyrrolidone) қосу арқылы болады. ATBS сонымен қатар төмен температурада да тұздылыққа төзімділік әкелуі мүмкін және екі валентті катиондардың (кальций мен магний) мөлшері маңызды болған кезде ұсынылуы мүмкін.

Бай кәсіпшілік тәжірибеге сүйене отырып, келесі полимер кандидаттары қарастырылды:

Flораам 5205VHM-AL-777: акриламид терполимері, акрил қышқылы және ATBS;

Flораам 3630S-AL-777 және 6025-AL-777: акриламид пен акрил қышқылының сополимері.

Полимерлерді іріктеу критерийлері: техникалық талаптарға сәйкес реагенттердің ықтимал қолайлы физика-химиялық сипаттамалары, ауқымды өндіріс мүмкіндігі, сондай-ақ салыстырмалы түрде орташа құны болды [16, 17].

Акриламидті полимерлердің ерітінділерінің негізгі технологиялық параметрлерін анықтайтын негізгі физика-химиялық сипаттамаларына меншікті тұтқырлық (және соған байланысты молекулалық масса) және полимер макромолекулаларындағы карбоксил топтарының мөлшері (гидролиз дәрежесі) жатады.

Ерітіндідегі полимерлердің меншікті тұтқырлығы макромолекулалардың тиімді меншікті гидродинамикалық көлемінің өлшемі болып табылады, ол кеуекті ортадағы реологиялық әрекеттің негізгі ерекшеліктерін анықтайды.

Соңғы ығысу градиенттеріндегі меншікті тұтқырлық шамаларын нөлдік ығысу градиентіне қолайлы дәлдікпен қайта есептеуге және кеуекті ортадағы ерітінділердің технологиялық қасиеттерін болжау үшін корреляциялық модельдерде пайдалануға болады. Меншікті тұтқырлық шамасын қолдана отырып, полимердің молекулалық салмағының орташа мәнін есептеуге болады [18-20].

Сулы ерітінділердегі гидролизденген полиакриламидтер анионды полиэлектролиттер болып табылады. Полиэлектролит ерітіндісінің иондық күйі ерітінділердің барлық технологиялық қасиеттерінің кешеніне қатты әсер етеді: полимерлердің минералданған сулармен үйлесімділігі, әртүрлі деструкцияға төзімділігі, реологиялық қасиеттері және т.б. иондық күйді макромолекуладағы карбоксил топтарының құрамымен анықталатын полимер тізбегінің заряд тығыздығымен сипаттауға болады.

Кен орны үшін ең қолайлы полимер әдетте әртүрлі параметрлерге сәйкес таңдалады:

- суда жақсы ерігіштік;
- берілген концентрациядағы ең жоғары тұтқырлық;
- уақыт бойынша жақсы тұрақтылық;
- экономикасы.

Әдетте, қажетті мақсатты тұтқырлық мұнай мен судың қозғалғыштығының қатынасы формуласын талдау арқылы анықталады:

$$M = \frac{\lambda}{\lambda_w} = \frac{\mu/k}{\mu_w/k_w} \quad (11)$$

мұндағы, λ , μ және k тиісінше қозғалғыштық, тұтқырлық және тиімді өткізгіштік, сондай-ақ w және o белгілері су мен майға қатысты.

Полимерлер қосылған суландыру, жіктеу бойынша екі түрге бөлуге болады. Бірінші түрі, суландыру кезіндегі тұтқырлық қатынасы қолайсыз болған кезде, полимерлер қосылған суды ұзақ айдау макроскопиялық деңгейде суландыру процесімен мұнай қабатын тиімді қамтуды арттыруы мүмкін, сондықтан мұнайдың толық және

тиімді вытысуына қол жеткізуі мүмкін. Екінші түрі, тіпті ұтқырлық коэффициенті қолайлы болған кезде де ($M < 1$ болған кезде), егер мұнай қабаты гетерогенді болса, полимерлі суландыру төмен өткізгіш қабаттардан қосымша мұнай алу үшін жоғары өткізгіш қабаттардағы судың қозғалғыштығын азайту үшін жасалуы мүмкін [21].

Қорытындылар мен ұсыныстар

Полимерлі суландыру технологиясының тиімділігі негізінен қолданылатын реагенттердің қасиеттерімен анықталады. Реагенттерді таңдау нақты кен орнын игерудің жеке ерекшеліктері мен жағдайын ескере отырып жүргізілуі керек.

Зерттеу жүргізу үшін полимерлердің үш маркасы қолданылды:

- Floraam 6025-AL-777;
- Floraam 5205VHM-AL-77;
- Floraam 3630S-AL-777.

Тұтқырлықтың полимер концентрациясына тәуелділігін анықтау бойынша зерттеулер жүргізілді.

Полимер ерітінділерінің тұтқырлығы бір тәулік ішінде өзгерген жоқ. Оның үстіне, судағы темір концентрациясы 1 ppm-ден төмен екендігі анықталды, бұл оттегінің суда болмауына мүмкіндік береді. Қажетті әдістер мен жабдықтарды пайдалана отырып, келесі сынамаларды алу кезінде оттегінің деңгейі тексеріледі.

Полимерлердің ерігіштігі сәйкесінше минералдануы 54,8 және 22,0 г/л ағынды және теңіз суларында зерттелді.

Ерігіштік полимерлі суландыру технологиясы үшін реагенттерді таңдаудағы маңызды параметр болып табылады. Сонымен қатар, техникалық талаптармен шектелген фракциялық құрамдағы акриламидті еріту процестерінде және полимерлермен жұмыс істеуде маңыздылығын атап өткен жөн. Нормативті шамалардан асып кету полимердің еру уақытын арттырады. Мәселен, мысалы, шаң фракциясының жоғары мөлшері (бөлшек өлшемі 0,25 мм-ден аз) бөлшектердің жабысып қалуына және нашар еритін кесектердің (ұйығыштардың) пайда болуына әкеледі.

Осы полимерлер үлгілерінің фракциялық құрамы елек әдісімен анықталды. Ұсынылған деректерден көріп отырғанымыздай, зерттелген барлық акриламид полимерлері үшін фракциялардың құрамы мен бөлшектердің өлшемдері техникалық талаптарды қанағаттандырады.

Акриламид негізіндегі полимерлердің ерітінділерін дайындау 5-7 с⁻¹ араластыру жылдамдығын қамтамасыз ететін жетегі бар, қалақ құлашы 60 мм және қалақ ені 10 мм екі қалақты араластырғыштың көмегімен жүзеге асырылды.

Акриламид полимерлерінің еру кинетикасы уақыт өте келе ерітінділердің тұтқырлығының өзгеруімен бағаланды. Тұтқырлықты тұрақтандыру сәті полимердің негізгі массасының еру уақытына сәйкес келеді. Ерітінділерді араластыру 5 сағат бойы жалғасты, содан кейін ерітінділер шыны Шотт сүзгілері арқылы сүзіліп, ерімейтін қалдық мөлшері анықтады.

Нақты кәсіпшілік жағдайында полимерлердің еру уақыты зертханалық жағдайда анықталғаннан 2-3 есе аз болатынын атап өткен жөн.

Полимер ерітіндісін айдау жолында қозғалғанда және кеуекті ортада сүзу кезінде әртүрлі ағын режимдері пайда болады. Бұл жағдайда полимер ерітінділерінің реологиялық қасиеттерін тұтқырлықтың белгілі бір мәнімен сипаттауға болмайды.

Полимерлі ерітінділердің тұтқырлығы айтарлықтай ығысу жылдамдығына байланысты. Полимерлі суландыру қолданылатын полимерлі ерітінділерге қатысты ағынның төрт түрін ажыратуға болады: ньютондық (идеалды), псевдопластикалық, дилатант және аралас.

Төмен ығысу жылдамдығында (1 с^{-1} -ден аз) полиакриламидтік ерітінділердің ағыны айқын көрінетін Ньютондық сипатқа ие. Төмен ығысу аймағында полимерлі ерітіндінің тұтқырлығы максималды және тұрақты шама болып табылады.

Қарапайым ығысу ағынында ығысу жылдамдығы артқан сайын полиакриламид ерітінділерінің тиімді тұтқырлығы төмендейді, яғни псевдопластикалық ағын режимінің көрінісі байқалады. Кеуекті ортада сүзгілеу кезінде оның сипаттамаларына, сондай-ақ полимер мен еріткіштің қасиеттеріне байланысты полимер ерітіндісінің псевдопластикалық ағыны режимі немесе дилатант пайда болуы мүмкін. Кейде кеуекті ортада ығысу жылдамдығының жоғарылауымен псевдопластикалық режимнен дилатантқа (немесе керісінше) ауысу байқалуы мүмкін; мұндай ағын аралас деп аталады. Кеуекті ортадағы ағынның сипаты полимер ерітіндісінің адсорбциялық және тұтқыр серпімділік қасиеттерімен анықталады. Полимер ерітінділерінің сүзілгіштік қасиеттері жоғары температураның әсерінен қабат жағдайында да өзгеруі мүмкін, өйткені термиялық гидролиз нәтижесінде зарядталған макромолекулаларда әртүрлі конформациялық өзгерістер болады.

Псевдопластикалық ағында ығысу жылдамдығының жоғарылауымен айқын (тиімді) тұтқырлықтың төмендеуі ассиметриялық полимер макромолекулаларының (орамдарының) бағдарлану процесімен түсіндіріледі. Бұл ретте олардың негізгі осьтері ағынның бағыты бойынша бағытталған.

Тиімді тұтқырлықтың төмендеуі молекулаларды бағдарлау процесінің аяқталуымен тоқтайды және де ығысу жүктемелерінің одан әрі жоғарылауымен (полимер тізбектерінің механикалық бұзылуы болатын белгілі бір шекке дейін) тұтқырлықтың минималды тұрақты мәні сақталады (ең төменгі Ньютон тұтқырлығы деп аталады).

Кеуекті ортадағы дилатант ағыны кезінде ығысу жылдамдығының артуы полимер ерітіндісіндегі молекулааралық құрылым түзілу процестеріне байланысты айқын тұтқырлықтың жоғарылауымен бірге жүреді. Дилатансияның себептері полимердің адсорбциялық және механикалық ұсталуы және кеуекті ортаның құрылымдық ерекшеліктері болуы мүмкін [21,22].

Полимерлі суландыру таңдалған объектілердегі ұңғымалардан 5 метр және одан да көп қашықтықтағы қабаттағы нақты ығысу жылдамдығының диапазоны орта есеппен 200-ден 1 с^{-1} -ге дейін құрайды. Ерітінділерді тікелей ұңғыманың түп маңы аймағында сүзу жоғары ығысу жүктемелерінің әсерінен жүреді, оның әсерінен полимер макромолекулаларының ішінара бұзылуы ерітіндінің тұтқырлық сипаттамаларының қайтымсыз төмендеуімен жүреді (механикалық деструкция деп аталады). Осыған байланысты полимерлердің механикалық деструкцияға төзімділігін бағалау нақты кәсіпшілік объект үшін қоюландырғыш реагентті таңдаудағы маңызды қадам болып табылады.

Бірінші кезеңде олардың қоюлану қабілетін салыстыру үшін полимер ерітінділерінің тұтқырлық сипаттамаларын зерттеу айналмалы вискозиметрлердің көмегімен еркін көлемде қарапайым ығысу ағынымен жүргізіледі. Жылжымалы ағын

кезінде алынған реологиялық мәліметтер полимер ерітіндісінің кеуекті ортадағы әрекетін болжауға мүмкіндік береді.


Сыналған полимер үлгілерінің реологиясын зерттеу Брукфилд вискозиметрін пайдаланып $0,09931 - 99,55 \text{ с}^{-1}$ ығысу жылдамдығы диапазонында жүргізілді.

Бірдей ығысу жүктемелеріндегі полимер ерітінділерінің тұтқырлығына полимердің молекулалық сипаттамалары, концентрациясы, еріткіштің минералдануы және температурасы әсер етеді.

Әртүрлі полимер үлгілерінің қоюлану қабілетін салыстыру үшін стандартты жағдайларда сынақтар жүргізілді: еріткіш 25°C және 60°C ерітінді температурасында. Ерітінділердегі полимер концентрациясы $2,0 \text{ г/л}$ құрады.

Жүргізілген жұмыс талдауы $0,09935 - 99,55 \text{ с}^{-1}$ ығысу жылдамдығының диапазонында зерттелетін полимерлердің еркін көлемдегі ерітінділерінің ағыны айқын псевдопластикалық сипатта болатындығын көрсетеді. Полимерлердің бірдей концентрациясында әртүрлі үлгілер үшін ерітінділердің тұтқырлығындағы айырмашылық өте маңызды және олардың молекулалық құрылымына (молекулалық масса, мономерлік бірліктердің құрылымы, аниондық топтардың құрамы және т.б.) байланысты.

Физика-химиялық зерттеулердің нәтижелері бойынша Батыс Қазақстан кен орнында полимерлі суландыру технологиясын енгізу үшін әлеуетті реагент ретінде Floaram 3630S-AL-777 үлкен қызығушылық тудырады.

Floaram 3630S-AL-777 концентрациядан тұтқырлық қатынасын ескере отырып, осы кезеңде екі су үшін де ең қолайлы үміткер болып көрінеді. 

Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қолдауымен орындалды (грант № AP19679430).

ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Фролов А.И., Салихов М.М., Фархутдинов Г.Н., Сергеев В.М., Фархутдинов Р.М., Буторин О.И.. Экспресс метод выбора участков для применения МУН ОПЗ и ВИР // Нефтепромысловое дело. - 2003. - №12. – С. 82 – 86. [Frolov A.I., Salihov M.M., Farhutdinov G.N., Sergeev V.M., Farhutdinov R.M., Butorin O.I.. Ekspress metod vybora uchastkov dlya primeneniya MUN OPZ i VIR // Neftepromyslovoe delo. - 2003. - №12. – S. 82 – 86.]
- 2 Чекалин А.Н., Конюхов В.М., Костерин А.В.. Двухфазная многокомпонентная фильтрация в нефтяных пластах сложной структуры // Казань: КГУ. - 2009. – С.180. [Chekalin A.N., Konyuhov V.M., Kosterin A.V.. Dvuhfaznaya mnogokomponentnaya fil'traciya v neftyanyh plastah slozhnoj struktury // Kazan': KGU. - 2009. – S.180.]
- 3 Чекалин А.Н., Кудрявцев Г.В., Михайлов В.В. Исследование двух- и трехкомпонентной фильтрации в нефтяных пластах. – Казань: КГУ. - 1990. –145 с. [Chekalin A.N., Kudryavcev G.V., Mihajlov V.V. Issledovanie dvuh- i trekhkomponentnoj fil'tracii v neftyanyh plastah. – Kazan': KGU. - 1990. –145 s.]
- 4 Ratov B.T., Mechnik V.A., Gevorkyan E.S., Bondarenko N.A., Kolodnitskiy V.M., Akhmetova N.S., Korostyshevskiy D.L., & Bayamirova R.U. Investigating the Wear Resistance of Cdiamond–(WC–Co)–ZrO2 Composite Impregnated Crowns in Granite Drilling // Journal of Superhard Materials. – 2024. – № 46(4). – P. 314–321. <https://doi.org/10.3103/S1063457624040099>

- 5 Ratov B.T., Hevorkian E., Mechnik V.A., Bondarenko N. A., Kolodnitskiy V.M., Prikhna T.O., Moshchil V. E., Nerubaskiy V.P., Kalzhanova A.B., Bayamirova R.U., Togasheva A.R., Sarbopeeva M.D. Effect of the ZrO₂ content on the strength characteristics of the matrix material of Cdiamond-(WC-CO) composites synthesized by Spark Plasma Sintering // *Journal of Superhard Materials*. – 2024. – N 46(3). – P. 175–186. <https://doi.org/10.3103/s1063457624030079>
- 6 Поддубный Ю.А. О классификации методов увеличения нефтеотдачи пластов (в порядке обсуждения) // *Нефтяное хозяйство*. – 2003. – № 4. – С. 19-25. [Poddubnyy YU.A. O klassifikacii metodov uvelicheniya nefteotdachi plastov (v poryadke obsuzhdeniya) // *Neftyanoe hozyajstvo*. – 2003. – № 4. – S. 19-25.]
- 7 Башкирцева Н.Ю., Куряшов Д.А., Сладовская О.Ю. Применение коллоидных систем для увеличения нефтеотдачи пластов // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2010. – № 10. – С. 585–591. [Bashkirceva N.YU., Kuryashov D.A., Sladovskaya O.YU. Primenenie kolloidnyh sistem dlya uvelicheniya nefteotdachi plastov // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. – 2010. – № 10. – S. 585–591.]
- 8 Толстых Л.И., Давлетшина Л.Ф., Потешкина К.А.. Полиакриламид в процессах нефтегазодобычи. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2023. [Tolstykh L.I., Davletshina L.F., Poteshkina K.A.. Poliakrilamid v processah neftegazodobychi. – M.: RGU nefiti i gaza im. I.M. Gubkina, 2023.]
- 9 Ratov B. T., Mechnik V. A., Khomenko V.L., Ilnatov A.O., Kalzhanova, A.B. Influence of disperse-hardening additive chrome diboride on the structure of carbide matrixes of PDC drill bits // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2024. – N 4. –P. 27–34. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-4/027>
10. Ratov B.T., Khomenko V.L., Kuttybayev A.E., Togizov K.S., Uteпов Z.G. Innovative drill bit to improve the efficiency of drilling operations at uranium deposits in Kazakhstan // *NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences*. – 2024. – Vol. 4. – N. 466. – P. 224–236 <https://doi.org/10.32014/2024.2518-170X.43>
11. Zholbassarova A. T., Bayamirova R. Y., Ratov B. T., Khomenko V. L., Togasheva A. R., Sarbopeyeva M. D., Tabylganov M. T., Saduakasov D. S., Gusmanova A. G., Koroviaka Ye.A. Development of technology for intensification of oil production using emulsion based on natural gasoline and solutions of nitrite compounds // *SOCAR Proceedings*. – 2024. – N 2. – С. 48–55. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP20240200965>
- 12 Ратов Б.Т., Куттыбаев А.Е., Муратова С.К., Сарбопеева М. Д., Калжанова А. Б., Жангирханова А.А. Подготовка смесей CrB₂ и формирование брикетов для композитов буровых долот // *Нефть и газ*. – 2024. – № 3. – С. 35-44. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-3.02> [Ratov B.T., Kuttybaev A.E., Muratova S.K., Sarbopeeva M. D., Kalzhanova A. B., ZHangirhanova A.A. Podgotovka smesey CrB₂ i formirovanie briketov dlya kompozitov burovyyh dolot // *Nef' i gaz*. – 2024. – № 3. – S. 35-44.]
- 13 Ratov B., Mechnik V. A., Rucki M., Hevorkian E., Bondarenko N., Prikhna T., Moshchil V. E., Kolodnitskiy V., Morozow D., Gusmanova A., Jozwik J., Arshidinova M., Tofil A. Enhancement of the refractory matrix diamond-reinforced cutting tool composite with zirconia nano-additive // *Materials*. – 2024. – N 17(12). – P. 2852. <https://doi.org/10.3390/ma17122852>
- 14 Ratov B., Kosminov A., Kuttybayev A., Tabylganov M., Seksenbay M. Public-private partnership between Satbayev University and SK Geoservice LLP: Enhancing collaboration in technological innovation and production. *E3S Web of Conferences*. – 2024. – N 525. 01007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452501007>
- 15 Ratov B.T., Mechnik V.A., Bondarenko N.A., Gevorkyan E.S., Kolodnitskiy V.M., Kalzhanova A.B., Sundetova P.S., Uteпов Z.G. Phase formation and diamond retention

- in cdiamond–(wc–CO)–Zro2 composites formed by Spark Plasma Sintering Method // Journal of Superhard Materials. – 2024. – N 46. – P. 112–128. <https://doi.org/10.3103/s1063457624020084>
- 16 Rucki M., Hevorkian E., Ratov B., Mechnik V. Study on properties of zirconia reinforced refractory matrix composites / 23rd International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings, 2024. <https://doi.org/10.22616/erdev.2024.23.tf038>
- 17 Khomenko V., Pashchenko O., Ratov B., Kirin R., Svitlychnyi S., Moskalenko A. Optimization of the technology of hoisting operations when drilling oil and Gas Wells / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2024. – N 1348. – P. 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012008>
- 18 Chudyk I., Biletskiy M., Ratov B., Sudakov A., Borash, A. A new method of oil and water well completion involving the implosion effect. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2024. – N 1348(1). – P. 012056. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012056>
- 19 Шувалов С.А., Винокуров В.А., Хлебников В.Н.. Применение полимерных реагентов для увеличения нефтеотдачи пласта и водоизоляции // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2013. – № 4(273). – С. 98–107. [Shuvalov S.A., Vinokurov V.A., Hlebnikov V.N.. Primenenie polimernyh reagentov dlya uvelicheniya nefteotdachi plasta i vodoizolyacii // Trudy Rossijskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza imeni I.M. Gubkina. – 2013. – № 4(273). – S. 98–107.]
20. Bissengaliev M., Bayamirova R., Togasheva A., Zholbasarova A., Zaydemova Zh. Analysis of complications associated with the paraffinization of borehole equipment and measures to prevent them// NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan 3(453). Series of geology and technical sciences. – 2022. – С.76-88. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.181>.
- 21 Бисенгалиев М.Д., Досказиева Г., Тогашева А.Р., Баямирова Р.У., Сарбопеева М.Д., Жолбасарова А.Т. Разработка технологии очистки призабойной зоны пласта от асфальтено-смолистых отложений // Нефть и газ. – 2023. – №1. – С.55-66. [Bisengaliev M.D., Doskazieva G., Togasheva A.R., Bayamirova R.U., Sarbopeeveva M.D., Zholbasarova A.T. Razrabotka tekhnologii ochistki prizabojnoj zony plasta ot asfal'teno-smolistyh otlozhenij // Neft' i gaz. – 2023. – №1. – S.55-66.]
- 22 Бисенгалиев М.Д., Баямирова Р.У., Жолбасарова А.Т., Тогашева А.Р., Сарбопеева М.Д. Мероприятия по улучшению эффективности гидравлического разрыва пласта и скин-ГРП // Нефть и газ. – 2023. – №1 (133). – С. 81-93. [Bisengaliev M.D., Bayamirova R.U., Zholbasarova A.T., Togasheva A.R., Sarbopeeveva M.D. Meropriyatiya po uluchsheniyu effektivnosti gidravlicheskogo razryva plasta i skin-GRP // Neft' i gaz. – 2023. – №1 (133). – S. 81-93]