

УДК 614.841; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-4.12>

<https://orcid.org/0000-0003-0897-3846>

<https://orcid.org/0000-0001-9442-213X>

<https://orcid.org/0000-0003-3323-8245>

<https://orcid.org/0000-0002-9658-5001>

<https://orcid.org/0000-0001-8697-9309>

ПОЛИАКРИЛАМИД НЕГІЗІНДЕГІ КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ ПОЛИМЕРДІҢ МҰНАЙ ЫҒЫСТЫРУҒА ӘСЕРІ



А.Б. ИСА,
«Химия» кафедрасының
аға оқытушысы,
isa_aziza@mail.ru



О.К. БЕЙСЕНБАЕВ,
техника ғылымдарының
докторы, «Бейорганикалық
және мұнайхимия
өдірістерінің технологиясы»
кафедрасының профессоры,
oral-kb@mail.ru



К.С. НАДИРОВ,
химия ғылымдарының
докторы, «Мұнай газ ісі»
кафедрасының профессоры,
nadirovkazim@mail.ru

А.Ж. СУЙГЕНБАЕВА, техника ғылымдарының кандидаты, «Химия» кафедрасының доценті,
syaljo@mail.ru

С.А. САКИБАЕВА, техника ғылымдарының кандидаты, «Бейорганикалық және мұнайхимия
өдірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры, saule.sakibayeva@bk.ru

М.ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ,
160012, Қазақстан Республикасы, Шымкент қаласы, Тәуке хан даңғылы, 5

Қызылорда кен орындарындағы ұңғымалардың көпшілігі жоғары суландыру жағдайында ұңғыма өнімдері шығарылады. Осы кен орындағы өндірілетін мұнай жоғары парафинді, жоғары эмульсияланған және аз күкіртті болып келеді. Бұл кен орындарындағы ұңғымаларды су мөлшерінің жоғары деңгейімен сипатталады, қабат суының көлемі өндірілген мұнайдың әрбір тоннасына 90% және одан да көп жетеді. Осыған байланысты мұнай және газ кен орындарынан мұнай ығыстыруды арттыру үшін қолжетімді шикізатты таңдау, сонымен қатар тиімді модификацияланған полимерлі реагенттерді қолдануға негізделген жаңа технологияларды әзірлеуді қажет етеді.

Натрий гидроксидімен гидролиздеу арқылы полиакриламид негізіндегі агрессивті орта мен жоғары температураға төзімді, әрі қарай формалин және госсипол шайырының май қышқылдары қатысында, 353-363К температурада, уақыт 4,0-4,5сағатта, реагент

қатынасы 1:0,8 МПАА сериясының композициялық беттік-активті полимерлерін алу технологиясын әзірледі. Модификацияның нәтижесінде госсипол шайыры негізінде алынған композиттік полимерлердің беттік-активті қасиеттерін реттеу мүмкіндігіне қол жеткізілді. Бұл жағдайда түрлендірілген ПАА беттік керілу $\sigma=43,6\text{Н/м}$ құрады. Гидролизденген және модификацияланған полиакриламид негізіндегі композициялық беттік-активті полимерлерін алу процесінің негізгі параметрлерін математикалық оңтайландыру жүргізілді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: полимерлі суландыру; модификация; композициялық полимер; қабаттағы мұнайды алу; тұтқырлық; госсипол шайыры; май қышқылдары.

ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОЛИМЕРА НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАМИДА НА ВЫТЭСНЕНИЕ НЕФТИ

А.Б. ИСА, ст. преподаватель кафедры «Химия», isa.aziza@mail.ru

О.К. БЕЙСЕНБАЕВ, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств», oral-kb@mail.ru

К.С. НАДИРОВ, доктор химических наук, профессор кафедры «Нефтегазовое дело», nadirovkazim@mail.ru

А.Ж. СУЙГЕНБАЕВА, кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия», syaljo@mail.ru

С.А. САКИБАЕВА, кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств», saule.sakibayeva@bk.ru

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

Большинство скважин Кызылординских месторождений эксплуатируются в условиях высокой заводненности скважинной продукции. Добываемая нефть этих месторождений является высокопарафинистой, высокоэмульсионной и малосернистой. Скважинная продукция этих месторождений отличается высокой степенью обводненности, объем пластовой воды доходит до 90% и более на каждую тонну добываемой нефти. В связи с этим для увеличения нефтеотдачи пластов нефтегазовых месторождений необходим подбор доступного сырья, а также новые технологии, основанные на использовании эффективных модифицированных полимерных реагентов.

Разработана технология получения новых композиционных поверхностно-активных полимеров серии МПАА на основе полиакриламида методом гидролиза гидроксидом натрия с последующей модификацией в присутствии формалина и жирных кислот госсиполовой смолы, при температуре 353-363К, времени 4,0-4,5 часа, соотношение реагентов 1:0,8, устойчивых к агрессивной среде и высокой температуре. В результате модификации достигнута возможность регулирования поверхностно-активных свойств композиционных полимеров в присутствии жирных кислот госсиполовой смолы. Поверхностное натяжение модифицированного ПАА составило $\sigma=43,6\text{Н/м}$. Проведена математическая оптимизация основных параметров процесса получения композиционных поверхностно-активных полимеров на основе гидролизованного и модифицированного полиакриламида.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: полимерное заводнение; модификация; композиционный полимер; нефтеотдача пластов; вязкость; жирные кислоты; госсиполовая смола.

THE EFFECT OF A POLYACRYLAMIDE-BASED COMPOSITE POLYMER ON OIL DISPLACEMENT

A.B.ISSA, doctoral student of «Technology of inorganic and petrochemical industries» department, isa.aziza@mail.ru

O.K. BEISENBAEV, Doctor of technical sciences, professor of «Technology of inorganic and petrochemical industries» department, oral-kb@mail.ru

K.S. NADIROV, Doctor of chemistry sciences, professor of «Oil and gas business» department, nadirovkazim@mail.ru

A.Zh. SUIGENBAYEVA, candidate of technical sciences, associate professor «Chemistry» department, syaljo@mail.ru

S.A. SAKIBAEVA, candidate of technical sciences, professor «Technology of inorganic and petrochemical industries» department, saule.sakibayeva@bk.ru

M. AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN RESEARCH UNIVERSITY
160012, Shymkent, Republic of Kazakhstan, Tauke Khan Avenue, 5

Most wells of the Kyzylorda fields are operated under conditions of high waterflooding of well products. The produced oil is highly paraffinic, highly emulsified and low-sulfur. In this regard, to increase oil recovery from oil and gas fields, it is necessary to select available raw materials, as well as new technologies based on the use of effective modified polymer reagents.

A technology has been developed for the production of new composite surfactant polymers of the MPAA series based on polyacrylamide by hydrolysis with sodium hydroxide followed by modification in the presence of formaldehyde and fatty acids of gossypol resin, at a temperature of 353-363 K, time 4.0-4.5 hours, the ratio of reagents is 1:0.8, resistant to aggressive environments and high temperatures. As a result of the modification, the ability to regulate the surface-active properties of composite polymers in the presence of fatty acids of gossypol resin has been achieved. The surface tension of the modified PAA was $\sigma=43.6$ N/m. Mathematical optimization of the main parameters of the process of obtaining composite surfactant polymers based on hydrolyzed and modified PAA. Mathematical optimization of the main parameters of the process of obtaining composite surfactant polymers based on hydrolyzed and modified polyacrylamide was carried out.

KEY WORDS: *modification; polymer reagent; reservoir oil recovery; viscosity; polymer flooding; gossypol resin; fatty acids.*

Қіріспе. Жер қабаттарынан мұнай алуды жоғарылату үшін қолжетімді және құны арзан шикізатқа негізделген жаңа заманауи технологиялық процестерді жасау; көрсеткіштер оңтайландыру; екіншілік энергия қорларды және отын-энергетикалық үнемдейтін технологияларды ұтымды пайдалану. Сондықтан композициялық беттік-активті полимерлерді алу технологиясын құрастыру мәселесінің қазіргі жағдайын талдай отырып, полимерлік суландыру өндірісінің оптималды технологиясын таңдау, техника-экономикалық көрсеткіштері жоғары заманауи технология жасауға мүмкіндік береді [1,2].

Полимерлік суландыруда қолданылатын полимерлердің ең маңыздысының бірі полиакриламид (ПАА) негізіндегі синтезделген полимерлер болып табылады [3,4]. Қазақстанның бірқатар кен орындарында мұнай өндіруді арттыру және сусыздануын төмендету үшін негізінен полиакриламидті және силикат гельдері пайдаланылады [5].

Дегенмен, практикалық тәжірибеде полиакриламид пен силикат гельдерін пайдаланудың тиімділігімен қатар, бірқатар кемшіліктері болады, яғни жоғары тұздылық

жағдайында пайдалануға болмайды [6]. Сол себепті Қазақстан кенорындары үшін басқа да полимерлік суландыру кешендерді зерттеу мүмкіндіктер туады.

Демек, Қазақстандағы полимерлік суландыруда химиялық тұрақтылығы мен жақсы ерігіштік сапасын арттыру әдісін қолдану аясы жер қабаттарынан мұнайды ығыстырудың нақты стратегиясы болып табылады.

Зерттеу әдістері мен нысандары. Зерттеуге алынатын шикізат жергілікті және ол қолжетімді болу керек, сонымен қатар өндіріс қалдықтарын қолдану керек, оларды пайдаға асыру, қоршаған ортаны қорғауда маңызды мәселені шешу болып табылады. Өндіріс қалдықтарын пайдалану маңызды мәселе болып табылады, яғни бұл өнімнің өзіндік құнын төмендетуге септігін тигізеді. Мұнайды жер қабаттарынан ығыстыруға арналған полимерлік реагенттерді таңдауды дұрыс жүргізу керек.

Реагенттердің қасиеттері: Полиакриламид ((C₃H₅NO)_n) – жоғары полимерлену дәрежесімен синтезделген суда еритін сызықтық полимер, суда оңай ериді, бензолда, эфирде, липидтерде және басқа да жалпы органикалық еріткіштерде ерімейді. Полиакриламидтің молекулалық салмағы 16-18·10⁶ Дальтонға дейін, ал өнімнің сыртқы түрі – ақ ұнтақ, ол температура 120°C-тан асқанда оңай ыдырайды; Госсиполды шайыр (C₃₀H₃₀O₈) – бұл қара-қоңыр түсті біркелкі тұтқыр май қышқылдарынан құралған масса. Молекулалық массасы M_r=518,563 г/моль, тығыздығы ρ=1,4г/см³, балқу t=177°C, қайнау t= 707°C.

Госсиполды шайыр (C₃₀H₃₀O₈) – бұл қара-қоңыр түсті біркелкі тұтқыр май қышқылдарынан құралған масса. Молекулалық массасы M_r=518,563 г/моль, тығыздығы ρ=1,4г/см³, балқу t=177°C, қайнау t= 707°C.

Полиэлектролиттердің қышқылдық саны (К.с) [7-9] әдістемесі бойынша анықталды. Титрленген үлгінің қышқылдығы мг-мен өрнектеледі. 100 мл-ге арналған NaOH және келесі (1) теңдеу бойынша есептеледі:

$$K = \frac{V \cdot T \cdot 100K}{50} \quad (1)$$

мұнда V – титрленген 0,05 н KOH ерітіндісінің көлемі, мл;

T – 0,05н NaOH ерітіндісінің титрі, мг;

100 – қышқылдықты 100 мл фракциямен өрнектейтін коэффициент.

Заттардағы қышқыл топтарын анықтау кері титрлеу әдісімен жүргізіледі. Зат үлгісіне (0,2-0,30 г) 25 мл 0,1н натрий гидроксиді ерітіндісі қосылады. Бір күннен кейін араластырғаннан кейін 0,1н тұз қышқылы ерітіндісімен титрлейді.

Қоспаның температурасын 20°C дейін жоғарылатады, араластырғыштың айналу жиілігін азайтып, май қышқылдарының сабындалу қабаты анық байқалғанша араластырғышта 15 минут бойы араластырылады. Араластыру тоқтатылғаннан кейін, қоспа ротордың n=50с⁻¹ айналу жиілігінде τ=5-7 минут бойы центрифугаланады. Госсиполды шайырдың сабындалған (сулы) және сабындалбаған, яғни органикалық бөліктерге бөлу арқылы, өлшеніп, талдауға жіберіледі.

МПАА композициялық беттік-активті полиэлектролитті алу ПАА гидролизі натрий гидроксиді ерітіндісімен формалин мен госсипол шайырының май қышқылдарының қатысуымен сатылы әдісімен жүзеге асырылады, бұл композицияның тиімділігін арттырады және процестің құнын төмендетеді.

Қазіргі уақытта молекулалардың ИҚ спектрлері: қосылыстарды анықтау үшін, сандық талдау үшін, құрылымдық-топтық талдау үшін, молекулаішілік және молекулааралық өзара әрекеттесулерді зерттеу үшін кеңінен қолданылады [10,11].

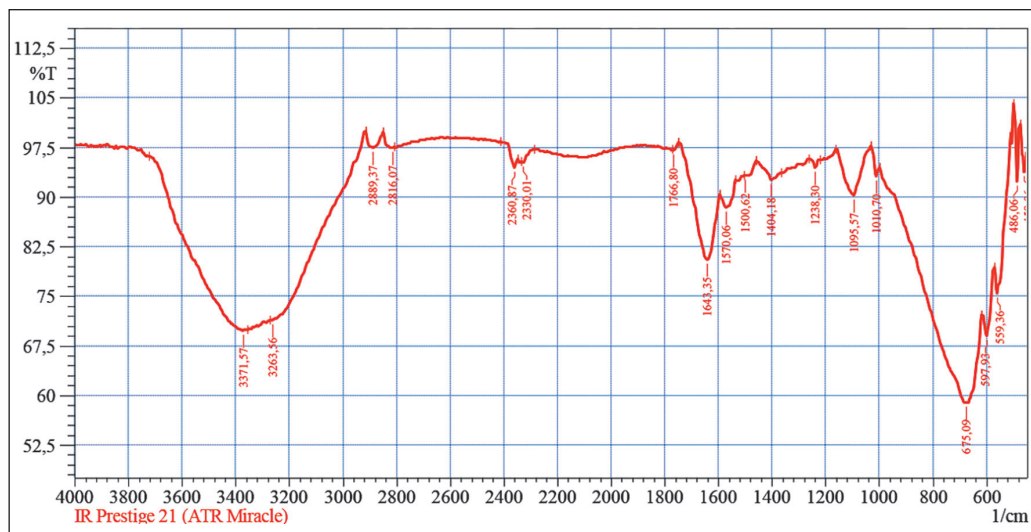
Алынған композициялық полимерлердің құрылымын анықтау үшін, химиялық құрамын растау және функционалдық топтардың табиғатын анықтау үшін гранулалық полиакриламид Shimadzu YRPrestige-21 IR-Fourier спектрометрінде 400-4000 cm^{-1} кювет толқын ұзындығы диапазонында полимерлер мен гидрогельдердің инфрақызыл жұтылу спектрлері алынады.

Алынған композициялық полимерлер ерітінділерінің беттік керілуі (σ) Вильгельми және Дю-Нуи әдісімен СТ-СВ-1 седиментометр-тензиометр көмегімен анықталды.

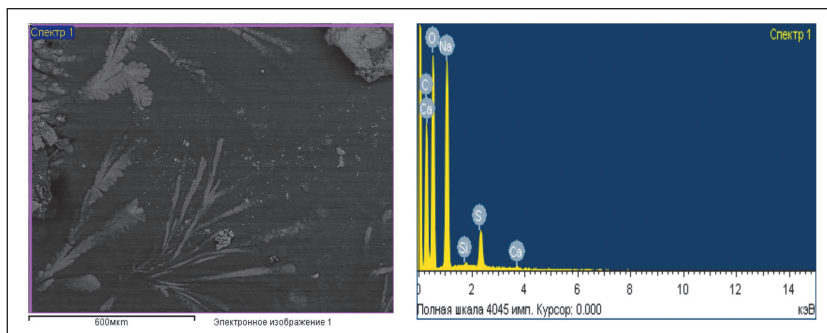
Нәтижелер және талқылау. Натрий гидроксиді көмегімен гидролизденген полиакриламидті сатылы түрде формалин және госсиполды шайырдың май қышқылдарымен модификацияланған үлгінің *1-суретте* ИҚ-спектроскопиялық, *2-суретте* элементтік және 40 есе үлкейту кезінде электронды микроскопиялық нәтижелері келтірілген.

1-суретте натрий гидроксиді көмегімен гидролизденген полиакриламидті сатылы түрде формалин және госсиполды шайырдың май қышқылдарымен модификацияланған полиакриламидтің ИҚ-спектроскопиясы интенсивті сіңіру жолақтары 3263-3371 cm^{-1} ауытқуында N–H валенттік тербелісіне, 2330-2360 cm^{-1} ауытқуларында C–N валенттік тербелістеріне, 1570-1643 cm^{-1} ауытқуларында C–O валенттік тербелістеріне сәйкес келеді.

Элементтік құрамының негізгі компоненттерін көміртегі (C) –39,04%, оттегі (O) – 40,73%, натрий (Na) – 20,78%, кремний (Si) – 0,14%, күкірт (S) – 3,85% құрайтындығы анықталды.



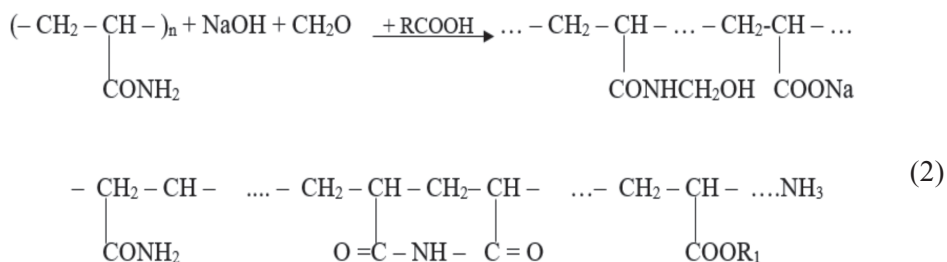
Сурет 1 – Натрий гидроксиді көмегімен гидролизденген полиакриламидті сатылы түрде формалин және госсиполды шайырдың май қышқылдарымен модификацияланған полиакриламидтің ИҚ-спектроскопиясы



Сурет 2 – Натрий гидроксиді көмегімен гидролизденген полиакриламидті сатылы түрде формалин және госсиполды шайырдың май қышқылдарымен модификацияланған полиакриламидтің элементтік және микроқұрылымы

2-суретте натрий гидроксиді көмегімен гидролизденген полиакриламидті сатылы түрде модификациялау процестерінде оның микроқұрылымы өзгеріске ұшырайтындығы анықталды, онда формалин арқылы метилол топтарының тармақталған байланыстар түзілу мүмкіндігі анықталды. госсипол шайыры май қышқылдарының макромолекулаға енуі, жалпы жүйенің гидрофилизациялануы нәтижесінде амрофты күйінің сақталуын қамтамасыз ететіндігі байқалды.

ИҚ-спектрокопиялық талдаулар нәтижесінде процестің реакция жүру мүмкіндігін түсіндіруге болады. Гидролиз процестерін сатылы жүргізу және ПАА модификациясы, яғни амид тобы формалинмен әрекеттесіп, метилол тобын түзеді, содан кейін түзілген карбоксил топтары госсипол шайырының май қышқылдарымен әрекеттеседі:



мұнда R₁–госсиполды шайырдың май қышқылдары (C₁₁-C₁₇-COOH).

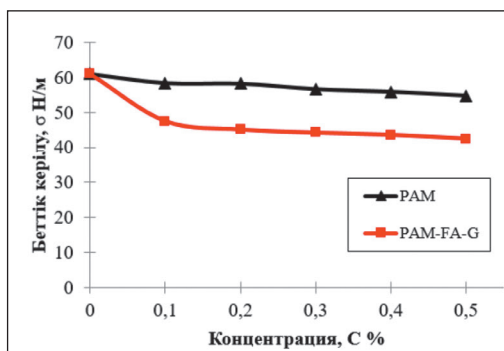
Натрий гидроксиді көмегімен гидролизденген полиакриламидті сатылы түрде формалин және госсиполды шайырдың май қышқылдарымен модификацияланған үлгіні мұнай ығыстыру процесінде қолдану үшін біріншіден мұнаймен жылдам әрекеттесу, жер қабаттарында мұнайды ығыстыру процесінде қажет болған беттік активтілікті белсендіру мақсатында госсипол шайырының май қышқылдарымен модификациялауда физико-химиялық қасиеттері зерттелінді.

Гидролизденген полиакриламидтен және май қышқылдарынан негізінде алынған полимерлердің беттік керілуін анықтау кезінде су-ауа шекарасында жоғары молеку-

лалы беттік-активті заттардың болуы салдарынан судың беттік керілуін төмендеуіне әкеліп соғады. Бұл беттік керілудің төмендеуін адсорбциялық қабатпен байланысқан макромолекулалардың бағытталу қабілетімен түсіндіруге болады [12].

Концентрацияның жоғарылауымен беттік-активті заттардың сулы ерітінділерінің рН мәндері артады.

Госсиполды шайырдың май қышқылдарының негізінде модификацияланған полиакриламидтің сулы ерітінділерінің концентрациясына байланысты беттік керілу изотермалық қисығы 3-суретте келтірілген.



1 - полиакриламид; 2 - госсиполды шайырдың май қышқылдарының негізінде модификацияланған полиакриламид

Сурет 3 – Госсиполды шайырдың май қышқылдарының негізінде модификацияланған полиакриламидтің сулы ерітінділерінің концентрациясына байланысты беттік керілу изотермалық қисығы

3-суретте госсиполды шайырдың май қышқылдарының негізінде модификацияланған полиакриламидтің сулы ерітінділерінің концентрациясы артқан сайын беттік керілуі кемиді. Мұны беттік-активті композициялардың құрамының ерекшеліктеріне байланысты түсіндіруге болады.

Анионды беттік-активті зат – мұнай-су шекарасындағы фазааралық кернеуді төмендетеді, яғни қалдық мұнай тамшыларын ұстайтын капиллярлық күштерді азайтып, оларды микроэмульсияға айналдырады (бұл ығысу кезінде қалдық мұнайдың қанығуын азайтуға көмектеседі).

Мұнайды ығыстыруды жоғарылату үшін беттік керілудің мәндерін төмендетпей-ақ беттік-активті заттары бар композициялар полимерлік суландыруда қолдануға болатыны айқындалды. Полиакриламидтің концентрациясы 0,4% болған кезде, беттік керілу мәні $\sigma=55,8\text{Н/м}$ тең болады, ал госсиполды шайырдың май қышқылдарының негізінде модификацияланған полиакриламидтің концентрациясы 0,4% болған кезде, беттік керілу мәні $\sigma=43,6\text{Н/м}$ тең болады. Бұл жерде қарапайым МПАА ерітіндісін төмен тұтқырлықта полимерлік суландыру қолданған кезінде, беттік-активті затпен модификацияланған ПАА ерітіндісін салыстырғанда беттік керілу өлшемі $12,2\pm 1\text{Н/м}$ аралығында концентрациясы 0,4% кезінде мұнай ығыстыруды арттыруын қамтамасыз етеді.

Демек, композициялық беттік-активті акрилатты полимер ерітіндісін салыстыру арқылы беттік керілу өлшемі $12,2\pm 1\text{Н/м}$ аралығында 0,4% концентрацияда мұнайдың ығысуын арттыруын қамтамасыз ететіні айқындалады.

Композициялық беттік-активті акрилатты полиэлектролиттерді алудың тәжірибелік жоспарлы таңдау дисперсиясының орташа мәні төрт тәжірибе бойынша есептеледі [12]:

$$S_y = S_{\text{воспр}}^2 / \sum_{i=1}^N X_{ji}^2 \quad (3)$$

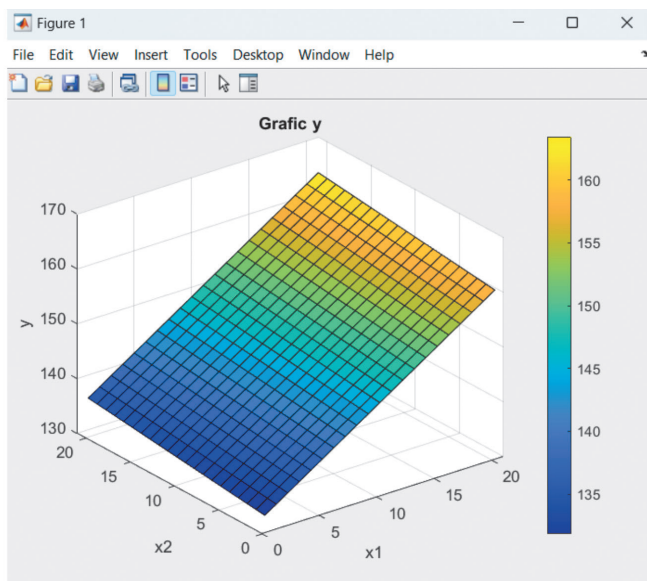
Регрессия тендеулері коэффициенттерінің мәнін критерий бойынша бағаланады. Мәні кіші коэффициенттерді бөліп алғаннан кейін келесі тендеу алынады:

$$y = 120,32 + 6,92 X_1 + 0,98 X_2 + 3,44 X_3 - 1,58 X_4 + 1,41 X_3^2 + 2,35 X_4^2 + 2,41 X_3 X_4 \quad (4)$$

Бұл 4-тендеудің Фишер өлшемі $F=4,36$, ал $F=20$ және $f_2=3$ кезінде $p = 0,05$ мәнділік деңгейі үшін Фишер өлшемінің кестелік мәніне $f_y=8,65$ тең болады.

Демек, алынған 4-тендеу композициялық беттік-активті акрилатты полиэлектролиттерді алу тәжірибесіне сәйкес болады.

Композициялық беттік-активті акрилатты полиэлектролиттерді алудағы есептеулер нәтижелері бойынша 5-суреттегі сызба алынды:



Сурет 5 – Композициялық беттік-активті акрилатты полиэлектролиттерді алудағы есептеулердің сызбасы


Демек, гидролизденген және модификацияланған ПАА негізінде композициялық беттік-активті полимерлерін алу процесінің негізгі параметрлерін регрессия тендеулері коэффициенттерінің мәнін критерий бойынша бағаланады және математикалық оңтайлы екендігі айқындалды.

Қорытынды. Беттік-активті заттары бар композициялық полиэлектролиттер коллоидты-химиялық қасиеттерін зерттеу бойынша полиакриламид негізінде май

қышқылдары қатысуымен алынған полимерлер жақсы беттік-активті және эмульгирлеуші қасиеттері, қабаттардан мұнайды ығыстыру кезінде маңызы зор болып табылады.

Госсипол шайыры май қышқылдарын вакуумдық айдауда кубтық қалдық ретінде алынады, бұл мұнай ығыстыруды арттыруда пайдаланылатын модификацияланған полимерлік қоспаларды алудағы құнды шикізаты болып табылады. Бұл негізінен май қышқылдарының тұздары мен госсипол тұздары және оның туындылары өнімділігі төмен қабаттардан мұнай алу процестерінде пайдалану үшін полимерлік қоспаларды модификациялауда белсенді болады.

Натрий гидроксидімен гидролиздеу арқылы полиакриламид негізіндегі агрессивті орта мен жоғары температураға төзімді, әрі қарай формалин, натрий тиосульфаты немесе госсипол шайырының май қышқылдары қатысында, 353-363 К температурада, уақыт 4,0-4,5 сағатта, реагент қатынасы 1:0,8 МПАА сериясының композициялық беттік-активті полимерлері алынды.

Синтезделген композиттік полимерлердің, сондай-ақ олардың сулы ерітінділерінің физика-химиялық қасиеттерінің нәтижелерінен полимерлер амфотерлі полифункционалды (амид, имид, карбоксил, гидроксил, сульфометил, эфир) беттік-активті полиэлектролиттерге жатқызылатыны анықталынды. 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Концепция инновационного развития Республики Казахстан до 2030 года [Conceptia innovacionnogo razvitia Respubliki Kazakhstan do 20230] // <https://pandia.ru/text/77/330/70180.php>. 2019.
- 2 Ларри Л. Основы методы увеличения нефтеотдачи / пер. с англ. [Larry L. Osnovi metodi uvelichenia nefteotdachi] – Остин: Университет Техас, 2002. – 380 с.
- 3 Gusenov I.Sh. Study of the possibility of gel forming polymers application for the productivity increase of oil wells: Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy (PhD) in Petroleum Engineering – Almaty, 2017. – 101p.
- 4 Shang X., Ding Y., Chen W. et al. Effects of the Interfacial Tension, Emulsification, and Mobility Control on the Tertiary Oil Recovery // Journal of Dispersion Science and Technology. – 2014. – Vol. 36, Issue 6. – P. 811-820.
- 5 Sagyndikov, M., Seright, R., Kudaibergenov, S., Ogay, E. (2022b). Field Demonstration of the Impact of Fractures on Hydrolyzed Polyacrylamide Injectivity, Propagation, and Degradation. SPE Journal 27(02): 999–1016. SPE-208611-PA. <https://doi.org/10.2118/208611-PA>.
- 6 Kalyanaraman N., Arnold C., Gupta A. et al. Stability improvement of CO2 foam for enhanced oil-recovery applications using polyelectrolytes and polyelectrolyte complex nanoparticles // Proceed. SPE Asia Pacific Enhanced Oil Recovery conf. – Kuala Lumpur, 2015. – P. 1-15.
- 7 Надиров К.С., Отарбаев Н.Ш., Капустин В.М., Бимбетова Г.Ж. Получение и использование эфиров жирных кислот хлопкового мыла - реагента для подготовки нефти [Poluchenie i ispolzovanie efirov zhirnich kislot chlopkovogo soapstoka –reagenta dlya podgotovki nefiti]// Нефть и газ. - №4.-2018. –С.78-86.
- 8 Отарбаев Н.Ш. Мақта гудроны өңдеудегі жанама өнімдер негізінде мұнайдың деэмульсация реагенттерін алу технологиясын әзірлеу: [Makta gudronyn ondeudegi zhanama onimder negizinde munaidin deemulsasia reagentterin alu tehnologiasii] дис. ... док. PhD. – Шымкент, 2020. – 141 б.

- 9 Бимбетова Г.Ж. Утилизация госсиполовой смолы с целью получения поверхностно-активных веществ: [Utilizacia gossipolovoi smoly s seliu poluchenia poverchnostno-aktivnych veshestv] дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36. – Шымкент, 2006. – 142 с.
- 10 Иса А.Б., Бейсенбаев О.К., Надиров К.С. Полимерный состав для вытеснения нефти [Polymerniy sostav dlya vytesnenia nefiti]// Нефть и газ. – 2023. – №2. – С. 197-206.
- 11 Самсонова Л.Г. Применение ИК и ЯМР спектроскопии при изучении и строения органических молекул. [Primenenie IK i YaMR spektroskopii pri izuchenii i stroenii organicheskikh molekul] – Томск.: 2016. – 60 с.
- 12 Kudaibergenov S.E., Polyampholytes: Synthesis, Characterization and Application. NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002. 220 p.
- 13 Федоткин И.М. Математическое моделирование технологических процессов. [Matematicheskoe modelirovanie technologicheskikh processov] – М.: КД Либроком, 2018. – 416 с.