

ӘОЖ: 622.276.6:661.185; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2026-2.10>

<https://orcid.org/0000-0001-8750-5703>

<https://orcid.org/0000-0002-8213-7128>

<https://orcid.org/0000-0002-3269-0937>

<https://orcid.org/0000-0002-3451-9746>

<https://orcid.org/0000-0001-5537-9474>

<https://orcid.org/0000-0001-8308-2088>

<https://orcid.org/0000-0002-3163-153X>

КЕН ОРЫНДАРЫН ИГЕРУДЕ ХИМИЯЛЫҚ РЕАГЕНТТЕРДІ ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ МЕН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛДЕРІ



Т.С. КАЙНЕНОВА,
докторант,
kaynenova83@mail.ru



К.Т. БИСЕМБАЕВА,
техника ғылымдарының кандидаты,
қауымдастырылған профессор,
karlygash.bissembayeva@yu.edu.kz



С. СЫРЛЫБЕКҚЫЗЫ,
PhD, профессор,
samal.syrlybekkyzy@yu.edu.kz



М.К. КАРАЖАНОВА,
PhD, қауымдастырылған
профессор,
maral.karazhanova@yu.edu.kz

А.Г. ГУСМАНОВА, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, aigul.gusmanova@yu.edu.kz
А.И. КОЙШИНА, PhD, қауымдастырылған профессор, akmaral.koishina@yu.edu.kz
А.А. БЕКБАУЛИЕВА, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, қауымдастырылған профессор, aliya.bekbauliyeva@yu.edu.kz

Ш.ЕСЕНОВ АТЫНДАҒЫ КАСПИЙ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ ИНЖИНИРИНГ УНИВЕРСИТЕТІ,
 Қазақстан Республикасы, 13000, Ақтау қ., 32 мкр.

Энергоресурстарға сұраныстың артуы, дәстүрлі өндіру әдістерінің тиімділігінің төмендеуі, өндірілуі қиын ресурстар үлесінің артуы қабаттың мұнай бергіштігін арттыруда геологиялық, техникалық физикалық, химиялық факторларды кешенді талдауға негізделген жаңа шешімдер іздеуді, оны ғылыми негіздеуді талап етеді. Фазааралық керілуді төмендетіп, тау жынысының ылғалдануының өзгеруіне ықпал етіп, қосымша мұнай өндіруде химиялық әдістерді қолданудың маңызы зор.

Зерттеудің мақсаты- мұнай бергіштікті арттыру үшін қолданылатын заманауи және қолданыстағы беттік белсенді заттарды жүйелеу, олардың экономикалық тиімділігін, артықшылығын және экологиялық шектеулерді салыстыра отырып, зерттеулердегі олқылықтарды анықтап, технологияны одан әрі дамыту бағытын анықтау.

Зерттеу кен орындарда қолданылып жүрген беттік белсенді заттардың әртүрлі түрлерін талдауға негізделді. Химиялық реагенттердің қабат жынысына адсорбциясы зерделенеді. Тиімділікті бағалау үшін температура, тұзды орта және басқа да факторлардың әсері анықталды. Кен орындарда беттік белсенді заттарды қолдану мысалдары салыстырылды. Қабаттың мұнай бергіштігін арттыруда қолданыста туындаған мәселелер талданды. Сонымен қатар, беттік белсенді заттарды таңдау критерийлері нақтыланды.

Зерттеулердің нәтижелері беттік керілістің төмендеуі беттік белсенді заттардың тиімділігін арттырып, ұңғымалар өнімділігін айтарлықтай арттыратынын көрсетті. Зерттеу барысында жоғары температура мен тұзды ортаға төзімді болып келетін полимер - ББЗ (ASP) жүйесі мен био ББЗ - полимерді интеграциялау жоғары потенциалды әдіс екенін растады. Практикалық тұрғыдан бұл технологиялар өндірілуі қиын, күрделі жағдайлардағы қабаттың мұнай бергіштігін арттыруда перспективалы зерттеу бағыттары ретінде қарастыруға ұсынылады.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: беттік белсенді заттар, гидрофильділік, адсорбция, мұнайбергіштікті арттыру, гидрофобтылық, уыттылық, биологиялық ыдырау.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Т.С. КАЙНЕНОВА, докторант, kaynenova83@mail.ru
К.Т. БИСЕМБАЕВА, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, karlygash.bissembayeva@yu.edu.kz
С. СЫРЛЫБЕКҚЫЗЫ, PhD, профессор, samal.syrlybekkyzy@yu.edu.kz
М.К. КАРАЖАНОВА, PhD, ассоциированный профессор, maral.karazhanova@yu.edu.kz
А.Г. ГУСМАНОВА, кандидат технических наук, профессор, aigul.gusmanova@yu.edu.kz
А.И. КОЙШИНА, PhD, ассоциированный профессор, akmaral.koishina@yu.edu.kz
А.А. БЕКБАУЛИЕВА, кандидат технических наук, доцент, ассоциированный профессор, aliya.bekbauliyeva@yu.edu.kz

НАО «КАСПИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНЖИНИРИНГА ИМ.Ш.ЕСЕНОВА»
 Республика Казахстан, 130000, г. Ақтау, 32 мкр.

Увеличение спроса на энергоресурсы, снижение эффективности традиционных методов добычи, увеличение доли труднопроизводимых ресурсов требуют поиска новых решений в повышении нефтеотдачи пласта, его научно обоснования, основанного на комплексном анализе геологических, технических физических, химических факторов. Боль-

шое значение имеет применение химических методов при добыче дополнительной нефти, снижающих межфазное натяжение и способствующих изменению смачиваемости породы.

Цель исследования-систематизировать современные и существующие поверхностно-активные вещества, используемые для повышения нефтеотдачи, выявить пробелы в исследованиях и определить направление дальнейшего развития технологии, сравнив их экономическую эффективность, преимущества и экологические ограничения.

Исследование основано на анализе различных типов поверхностно-активных веществ, используемых в месторождениях. Изучается адсорбция химических реагентов на породу слоя. Для оценки эффективности было определено влияние температуры, соленой среды и других факторов. Сравнивались примеры применения поверхностно-активных веществ в месторождениях. Проанализированы проблемы, возникающие при повышении нефтеотдачи пласта. Кроме того, уточнены критерии выбора поверхностно-активных веществ.

Результаты исследований показали, что снижение поверхностного натяжения может повысить эффективность поверхностно-активных веществ и значительно повысить производительность скважин. Исследование подтвердило, что интеграция системы полимер-БАВ (ASP) и био ПАВ- полимера, которые устойчивы к высоким температурам и солевой среде, является высокоэффективным методом. С практической точки зрения эти технологии рекомендуются к рассмотрению в качестве перспективных направлений исследований по повышению нефтеотдачи пласта в сложных, труднопроизводимых условиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: поверхностно-активные вещества, гидрофильность, адсорбция, повышение нефтеотдачи, гидрофобность, токсичность, биоразлагаемость.

EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL RISKS OF USING CHEMICAL REAGENTS IN FIELD DEVELOPMENT

T.S. KAINENOVA, PhD student, kaynenova83@mail.ru

K.T. BISSEMBAYEVA, candidate of technical sciences, associate professor, karlygash.bissembayeva@yu.edu.kz

S. SYRLYBEKKYZY, PhD, professor, samal.syrlybekkyzy@yu.edu.kz

M.K. KARAZHANOVA, PhD, associate professor, maral.karazhanova@yu.edu.kz

A.G. GUSMANOVA, candidate of technical sciences, associate professor, aigul.gusmanova@yu.edu.kz

A.I. KOISHINA, PhD, associate professor, akmaral.koishina@yu.edu.kz

A.A. BEKBAULIYEVA, candidate of technical sciences, docent, associate professor, aliya.bekbauliyeva@yu.edu.kz

CASPIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND ENGINEERING
NAMED AFTER Sh.YESSENOV

Republic of Kazakhstan, 130000, Aktau, Micro area, 32

An increase in demand for energy resources, a decrease in the efficiency of traditional extraction methods, and an increase in the share of hard-to-produce resources require the search for new solutions to increase oil recovery and its scientific justification based on a comprehensive analysis of geological, technical, physical, and chemical factors. Of great importance is the use of chemical methods in the extraction of additional oil, which reduce the interfacial tension and contribute to a change in the wettability of the rock.

The purpose of the study is to systematize modern and existing surfactants used to enhance oil recovery, identify gaps in research and determine the direction of further technology development by comparing their economic efficiency, advantages and environmental constraints.

The study is based on an analysis of various types of surfactants used in the deposits. The adsorption of chemical reagents on the rock of the layer is being studied. To assess the effectiveness, the influence of temperature, salinity, and other factors was determined. Examples of the use of

surfactants in deposits were compared. The problems arising from increased oil recovery are analyzed. In addition, the criteria for the selection of surfactants have been clarified.

The research results have shown that reducing surface tension can improve the efficiency of surfactants and significantly improve well productivity. The study confirmed that the integration of the polymer- surfactants (ASP) system and bio surfactants- polymer, which are resistant to high temperatures and salt environments, is a highly effective method. From a practical point of view, these technologies are recommended for consideration as promising areas of research to enhance oil recovery in difficult, difficult-to-produce conditions.

KEYWORDS: surfactants, hydrophilicity, adsorption, increase oil permeability, hydrophobicity, toxicity, biodegradability.

К іріспе. Қазақстанда көптеген кен орындардың өндірудің соңғы сатысында болуы, өндірілуі күрделі жағдайларда тұрған кен орындардың көптігіне байланысты мұнай бергіштікті арттырудың жаңа технологиялары мен әдістерін зерттеуді талап етеді. Қалдық мұнай қорын өндірудедәстүрлі өндіру әдістері мүмкін болмаған жағдайларда мұнай бергіштікті арттырудың үшіншілік әдістері, соның ішінде химиялық әдістергенегізделген жаңа технологияларды қолдану өзекті болып отыр.

Жалпы қалдық мұнайдың су айдау кезінде толық алынбауы мұнайдың тығыздық, тұтқырлық тәрізді параметрлерінің әртүрлі болуынан мұнайды сумен ығыстыру фронтының бірқалыпсыз таралуы туындайды. Сонымен қатар, кен орындағы жыныс қасиеттері мен құрылысының біртекті орналасуы әсер етеді. Тағы бір себебі коллектор жынысының капилярлық-кеуекті құрылысымен және мұнай мен жыныс контактысының үлкен көлемдегі бетімен байланысты. Жыныс бетінде сумен ығыстыруға келмейтін мұнай қабығы қалып қояды. Мұндай мұнайдың көлемі кен орындағы мұнайдың барлық көлемінің 10-20 %-ын құрайды. Онымен қоса, қабаттағы мұнайдың 10%-ы тарылған капилярлық кеуектер мен жыныс жарықшақтарында тамшы ретінде ұсталады. Бұл тамшылардың ығыстырылуына, мұнайды сумен ығыстыру қысым градиентінен бірнеше жүздеген, кейде тіптен мыңдаған есе жоғары болып келетін капилярлық қысым градиенті кедергі келтіреді. Осылайша, бұл себеп мұнай- су- жыныс жүйесінің фаза аралық шегарасында иондық- молекулалық беттік күштердің кері әсерінде.

Су айдаудан кейін кен орындағы қалдық мұнайдың 27%-ы сумен қамтылмаған өткізгіштігі төмен қабаттарда, 19%-ы біртекті қабаттардың тұрып қалған аймақтарында, 24%-ы ұңғымада ашылмаған өткізбейтін экрандар мен линзаларда, 30%-ы мұнай жабындары мен капилярларында ұсталып қалады. Осылайша біртекті емес қабаттарда ылғалданумен қамтылмаған мұнай мөлшері барлық қалдық мұнайының 70%-ын құрайды және мұнай бергіштікті арттыруда негізгі резерв болып табылады. Бұл туындаған мәселелер мұнай кен орнының игеру әдісінің тиімділігін арттыруда химиялық әдістерді қолдануға ынталандырады.

Мұнай бергіштікті арттырудағы химиялық әдістерде беттік белсенді заттарды пайдалану мұнай-су шегарасындағы беттік керілісті азайтып, мұнайдың қозғалғыштығын арттырып, өткізгіштігін жеңілдетіп, сумен ығыстыруын арттыруға негізделген тәсіл болып табылады. Жалпы мұнай бергіштік коэффициентінің (МБК) 1%-ға арттырудың өзі жылына қабаттан ға арттырудың өзі жылына қабаттан 30 млн.

тонна мұнай алуға мүмкіндік береді. ББЗ қолдану мұнай бергіштік коэффициентін 15-20 %-ға арттырып, игерудің кеш сатысында тұрған кен орындардың қосымша мұнай өндіруін арттырады [1].

Мұнай өндіруде ББЗ пайдалану су мен мұнайдың шегарасындағы судың фазааралық керілісін азайтып, мұнай тамшыларының тар кеуектер арқылы оңай деформацияланып, қабаттағы қозғалыс жылдамдығын арттырады. Сонымен қатар, беттік керілістің азюымен ылғалданудың шеткі бұрышын азайтып, жыныстың сумен ылғалдануын арттырады. Осылайша гидрофильдену жыныс бетінің мұнаймен адгезиялануын әлсіретеді. ББЗ сулы ерітіндісі мұнайды жуғыштық қасиет көрсетіп, жыныс бетінен мұнай қабатын ажыратып, өзі жұқа қабыршақпен жабады.

ББЗ негізгі химиялық табиғатына сәйкес сулы ерітіндіде диссоциацияланбайтын ионогенді емес және қарапайым электролиттер тәрізді суда иондарға ыдырайтын ионогенді болып бөлінеді. Ионогенді ББЗ анионоактивті, катионоактивті, амфотерлі немесе цвиттер- ионды деп ажыратылады.

Бұған дейінгі зерттеулерде талдау барысында ББЗ пайдалануының тиімділігі қабаттың геологиялық, физикалық шарттары мен қабат флюидтерінің құрамына, ББЗ сипаттамаларына, экологиялық шектеулерге, яғни ББЗ уыттылық деңгейі мен биологиялық ыдырау қабілетіне байланысты екені анықталды [2].

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу жұмысы қабатты игеру процесінде қолданылатын ББЗ технологиялық тиімділігі мен экологиялық тәуекелдерді бағалауға бағытталған. Зерттеу кезінде теориялық талдау әдісі мен шетелдік және отандық ғылыми еңбектерде жүргізілген эксперименттік, есептік әдістерге статистикалық талдау әдістері қолданылады.

Зерттеудің бірінші кезеңінде тәжірибелік кернді зерттеу, ББЗ мұнай бергіштікке әсер ету механизмі, экологиялық қауіпсіздік мәселелері, пилоттық зерттеулер мен өндірістік сынақтар нәтижесінде жүргізілген тәжірибелердің нәтижелерін жан- жақты талдау мен -өңдеу жұмыстары жасалған. Ғалымдардың зерттеулерінде қарастырылған негізгі зерттеу әдістері: мұнай- су шегарасындағы фаза аралық керілісті өлшеу, контактты бұрышты анықтау, минерал бетінде компоненттердің адсорбциялану, ББЗ физика- химиялық құрамын зерттеуді қамтиды. Мицеллалардың марфологиясы мен керннің саңылауларында ББЗ таралуын микроскопиялық және спектроскопиялық әдістермен анықталуы зерделенді. Ғылыми еңбектерде жүйелеу барысында беттік белсенді заттарға талдау жұмыстары *Кестеде* қарастырылды.

Кесте 1 - Зерттеулік қарасатырылған беттік белсенді заттар

№	Аталуы	Түрі
1	Фторлы аниондық ББЗ	Аниондық
2	Фторлы амфотерлі ББЗ	Цвиттерлік
3	Цетил триметил амоний бромид+ TR-880	Катиондық- Цвиттерлік
4	Алکیلфосфаттар	Аниондық
5	НИНКА-3	Композиттік
6	ПАВ полимерлік	Катиондық/цвиттерлік/аниондық
7	Табиғи сурфаканат	Биологиялық

Дұрыс таңдалған ББЗ мұнай мен су арасындағы фазаралық керілісті 20-30 мН/м-ден 10^{-3} мН/м-ге дейін төмендетіп, капилырлық күштердің төмендеуін тудырып, колллекторларды ұсталып тұрған қалдық мұнайдың жылжуына септігін тигізеді. Фазаралық керілістің төмендеуі мұнай бергіштік коэффициентінің артуына алып келеді. Дегенмен, зерттеулер бойынша фазаралық керіліс мәнінің төмендеуінің де шегі бар, одан әрі төмендету МБК артуына шекті ғана әсер ететін болады. Бұл ығыстыру процесінің комплекстік әсеріне негізделген фазаралық керілістен басқа жыныстың ылғалдануы мен сүзілу профилінің әсерінің маңыздылығын қарастырады.

ББЗ таңдау барысында қабат бетінің гидрофильді болуы колллекторлардың ылғалдану, ылғалдану қасиетіне байланысты. Кейбір карбонатты қабаттарға тән қасиет бойынша мұнаймен немесе аралас ылғалдану нәтижесінде қалдық мұнайдың негізгі бөлігінің қабатқа сіңуімен жоғалтуларға ұшырайды. Бұл жағдайларда катионды немесе амфотерлі ББЗ қолдану қабаттың гидрофильдігін қалпына келтіріп, мұнайды сумен ығыстыру жағдайларын жақсартады.

Әдетте карбонатты қабаттар құмтастарға қарағанда мұнай сіңіргіштік қасиеті жоғары болып келеді. Бұл карбонатты қабаттардың рН=8 шамасында ондағы мұнайдың құрамы шайырлы, асфальтенді құрамды карбоксилді қосылыстар қабаттың минералды суларымен теріс зарядқа ие болып, оң зарядталған қабат бетінде нығыз адсорбцияланады. Осылайша органикалық қабат карбонатты қабат бетін толық жауып, қабаттың мұнаймен ылғалдануын тудырады.

Катиондық ББЗ аниондық ББЗ салыстырғанда карбонатты қабаттардың суланғыштық қасиетін жақсырақ өзгертеді. Бұл иондық жұптық әсердің гидрофобты әсерден күштірек болуына байланысты. Катиондық ББЗ тағы бір ерекшелігі оңай десорбциялану мүмкіндігінде. Нәтижесінде жыныс беті бастапқы күйіне оралып, сумен суланғыштығы артып, өздігінен сіңу мүмкіндігіне ие болады.

Катиондық ББЗ карбонатты қабаттардың суланғыштық қасиеттеріне оң әсер етсе, құмтасты колллекторларда тез адсорбцияланып кетуіне байланысты қолдануға болмайды.

Сонымен қатар, қабат құрамының минералдылығы да ББЗ қолдану жағдайларын шектейді. Тұз мөлшері 150-200 г/л және одан да жоғары шарттарында ББЗ тиімділігі төмендеп, тұнбаға түсуі байқалады [3, 4].

Нәтижелер мен талқылау

Адель О. Аль-Амоди және басқалары (2015) фторлы аниондық және амфотерлік беттік белсенді заттармен карбонаттық қабаттарға зертханалық, керндік тесттер жасау барысында беттік керілісті азайтып, ылғалдануды өзгерту арқылы мұнай беру коэффициентін 15-25% жоғарылату мүмкіндігін анықтады. Ca^{2+} , Na^{+} , Mg^{2+} тұздарына төзімділігі нашар анионды ББЗ қарағанда карбонатты қабаттарда жоғары температура мен тұздылыққа төзімділігі жоғары болып келетін комбинирленген цвиттерлік-катиондық ББЗ пайдалану тиімділігін С.М. Мир Багери және басқалары (2025) атап өткен. Карбонатты қабаттар көбіне оң зарядталғандықтан аниондық ББЗ бұл қабаттарда адсорбциялық қабілеті жоғары болғандықтан катиондық-цвиттерлік қолдану арқылы, ылғалданудың контактты бұрышын төмендетіп, жынысты гидрофильділікке өзгертеді [5, 6]. Карбонатты қабаттардағы ББЗ қолданудың мұнай бергіштік коэффициентіне әсері *1 суретте* қарастырылған.



Сурет 1 - Карбонатты қабаттардағы ББЗ қолданудың мұнай бергіштік коэффициентіне әсері

М.Р.Азам және басқалардың зерттеулерінде құмтастарда аниондық ББЗ адсорбциялануы жыныс бетінде ББЗ монокабатының пайда болуымен, адсорбциялық қанығуына негізделіп, карбонатты қабаттармен салыстырғанда құмтасты жыныстар үшін анионды ББЗ қолайлы орта болып табылатынын көрсеткен. Зерттеулер барысында жыныстың минералдылығының жоғары болуы ББЗ адсорбциясын арттыратыны анықталып, бұл мәселемен күресу мақсатында иондық құрамды өзгерту, кванттық-химиялық есептеулер арқылы адсорбциялық болжау жұмыстарын жүргізу, беттік модификациялау (сілтілік қоспалар, жынысты алдын-ала өңдеу) ұсынылады [7].

Өткізгіштігі төмен, күрделі минералды (сазды, органикалық қосылыстар), капиллярлық күштері жоғары және меншікті беті жоғары алынуы қиын, күрделі жағдайлардағы мұнай бергіштікті арттыру мақсатында ББЗ пайдалану жағдайларын зерттеу барысында (Вэйдун Чэнь, 2020 және Огунтаде Т. И., 2022) тек беттік керілісті төмендету негізгі механизмі емес, жыныстың ылғалдануын өзгерту, капиллярлық күштерді бақылау де маңызды роль атқаратынын ескерген. ББЗ таңдаудың классикалық критерилері күрделі жағдайларда толық қолданылыс таппайды (кесте 2) яғни, барлық кен орындарға бірдей ББЗ келмейді, таңдау қабаттың ерекшеліктерін ескерімен жүргізіледі [8,9].

Кесте 2 - Өртүрлі қабаттарға әсер ету критерийлері

№	Критерийлер	Дәстүрлі қабаттар	Дәстүрлі емес
1	Негізгі әсер ету механизмі	Фазалық керілісті төмендету	Ылғалдану бұрышын өзгерту
2	Саңылау өлшемі	Микро	Нано
3	Адсорбция	Орташа	Өте жоғары
4	ББЗ қойылатын талап	Ультратөмен фазалық керіліс	Адсорбцияны бақылау

Игерілуі күрделі кен орындарға адсорбцияны болжау мен минералдармен әрекеттерді ескеретін молекулалық модельдеу жұмыстарын жүргізіп, температура мен тұзға тұрақты композитті (синетикалық, биологиялық, фторланған) ББЗ қолдану жағдайларын жан-жақты зерттеу ұсынылады.

Композитті ББЗ қолданып зерттеулерінде Л. К. Алтунина және тағы басқалары (2016), НИНКА-3 зертханалық, Усинский кен орынында үлгілік- өнеркәсіптік сынақтар жүргізу барысында тұтқырлығы өте жоғары, жылулық әсер етумен қатар қолданғанда тиімділігін көрсетіп, мұнай бергіштікті 18–28 % арттырды. Ерітіндінің тағы бір ерекшелігі қабаттың рН көрсеткішін 7-10 аралығына дейін өзгертіп, ББЗ қабат бетінде адсорбциясын азайтып, композицияның активтілігін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, композицияға алюминий тұздарын қосу арқылы, ығыстырушы агенттің тұтқырлығы артып, қабаттың қамту дәрежесін арттыруға да болатыны зерделенді.

Жоғары тұтқыр мұнайлардың МБК 20-30% - ға арттыруға мүмкіндік беретін қышқылды композитті ББЗ К. Алтунина және тағы басқалары (2019) зерттеулерінде көп деңгейлі әсер етуімен жоғары тиімділікке ие болғанын зерттеулер барысында дәлелдеген. Дегенмен, қышқылды композиттің құрамының күрделілігі, бағасының жоғары болуы, жоғары коррозия тудыру жағдайлары және жоғары токсикалық қасиеттері ББЗ қолдану мүмкіндіктерін шектейді [10, 11].

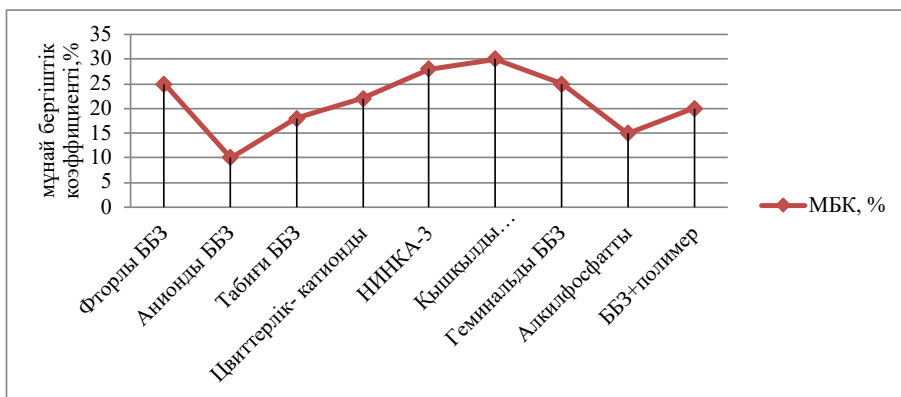
И. М. Арсланова (2017), мұнай беруді арттыру үшін беттік-полимерлік жүйенің физика-химиялық ерекшеліктерін зерттеп, полиакриламид, мицелла тудырушы Р-30 (А маркалы), Р-30 (базалы), Р-30 оптимизациялы (Б маркалы) беттік белсенді заттардың тұтқырлығының концентрацияға, температураға тәуелділігін тәжірибелік анықтап, салыстыру нәтижесінде мицелла тудырушы Р-30 (А маркалы) биологиялық ыдырап кететін «жасыл химияға» жататын реагенттің тұтқырлығына температура мен концентрацияның артуы айтарлықтай әсер етпегенін және фазаралық керілістің төмендеуін анықтаған [12].

Г.А. Ахмедова және тағы басқалары (2025), аз концентрацияда (0,01-0,05%) жоғары тұрақтылық көрсететін бір атомға бекітілген екі гидрофобты (көмірсутектер) тізбегінен және екі гидрофильді топтан тұратын геминальды беттік белсенді заттарды зеттеп, қарапайым ББЗ салыстырғанда МБК 5-25% -ға жоғарылығын анықтаған. Геминальды ББЗ- ды басқа ББЗ салыстырғанда мицелла түзу критикалық концентрациясы 10-100 есе төмен, мұнай-су беттік керілісінің төмендеуі өте төмен 10-3-10-4 мН/м көрсеткішке ие. Сонымен қатар, 80-1200С температурада, Са²⁺, Mg²⁺ тұздарына тұрақты және карбонатты қататтарда қолдану тиімді. Дегенмен, геминальды реагенттердің жоғары токсикалық (әсіресе катиондық формасында) қасиеті, синтезделуінің қымбат және күрделі процесс болып табылуы оны технологиялық және экологиялық тұрғыдан пайдалануды шектейді [13].

Зерттеулердің нәтижелерін өңдеу барысында келесі заңдылықтар туындады:

- ББЗ тиімділігі беттік керілістің төмендеуімен байланысты, дегенмен, ылғалданудың өзгеру қасиеті де критикалық фактор болып табылады;
- Жоғары нәтиже қабат температурасы мен минералдылығы төмен жағдайларда жоғарғы нәтижелерге қол жеткізіледі;
- Адсорбциялық шығындар басты технологиялық шектеу болып табылады;
- Бір факторлы жүйелерге қарағанда комбинирленген әдістер (ASP) жоғары потенциалға ие болып келетінін көрсетеді.

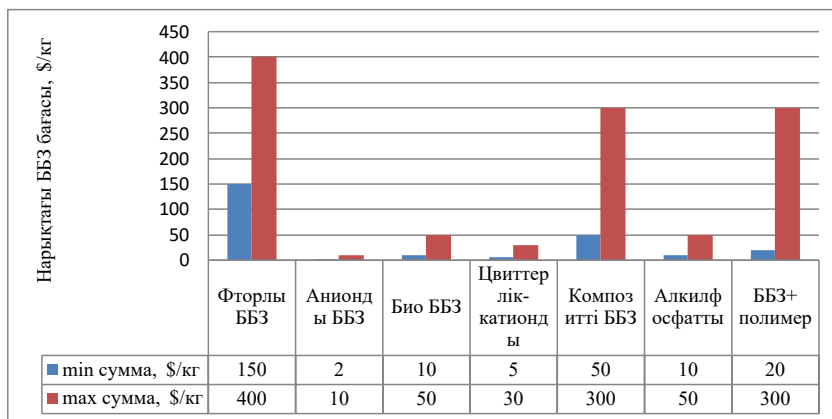
Мақалада қарастырылған ББЗ жүйесінің мұнай бергіштік коэффициентінің өсіміне әсері 2-суретте бейнеленген.



Сурет 2 - ББЗ мұнай беру коэффициентіне әсері

Беттік белсенді заттарды негізгі параметрлері бойынша зерделесек, фторлы, табиғи, цвиттер-катионды, қышқылды композициялы ББЗ тұздарға және жоғары температураға тұрақты, жоғары тұтқырлы мұнайлар мен карбонатты қабаттар үшін тиімді болып келеді. Ал алкилфосфаттар мен анионды БББ минералдар мен жоғары температураға тұрақсыз, көбінесе құмтастар үшін пайдалануға болатыны анықталды.

Мұнай бергіштікті арттыру ББЗ таңдауда оның бағасы жобаның өзін-өзі ақтауының негізгі көрсеткіштерінің бірі болып табылады. Мақаладағы қарастырылған негізгі ББЗ бағасы 3 суретте қарастырылған.



Сурет 3 - Нарықтағы ББЗ орташа бағасы

Техникалық сурфаканаттар көбінесе төмен бағада болып келеді, бірақ игерілуі күрделі сатыдағы кен орындар үшін қымбат реагент болғанына қарамастан, тиімділігі жоғары ББЗ оларды қолдану барысында мұнай бергіштік коэффициентінің айтарлықтай артуымен өзін толық ақтай алады. Сонымен қатар, ББЗ қойылатын негізгі талаптың бір реагенттердің қоршаған ортаға экологиялық әсері болмайтындай биоыдырап кетуі қажет.


Ұқсас шарттарда қарапайым аниондық ББЗ-дың мұнай бергіштік коэффициенті (5-15%) Жунисенов 2023, Чэнь 2020 зерттеулеріндегі МБК (12-25%) салы-

стырғанда төмен бағаланады. Бұндай әртүрлілікке әсер ететін факторлар қабаттың минералдылығы мен тұздылығы, коллектор түрі, ББЗ концентрациясы, температура мен тәжірибенің әдісінде. Карбонатты және құмтасты коллекторлардың ББЗ-мен әртүрлі әсерлесуі де нәтиженің екі түрлі болуының себебі. Тұзды минералды қабаттарда аниондық ББЗ тиімділігін жоғалтып, цвиттерлік, фторлық ББЗ тұрақтылық көрсететіні, температураның фаза аралыс керілісті арттырып, кейбір ББЗ деградациясын жылдамдататыныны белгілі болды. Осындай талдаулар нәтижесінде аниондық және алкилфосфаттар тек опитальды жағдайларға ғана (төмен тұздылық пен құмтастарда) эффективтілік көрсетіп, күрделі жағдайлар мен тұтқыр мұнайларда комбинирленген жүйелердің (ББЗ+ полимер, қышқылдық ББЗ композициясы, цвиттер-катиондық) тиімділігі анықталды. Зерттеулердегі химиялық реагенттердің коррозияға әсері, экологиялық тұрғыдан қоршаған ортаға тигізетін әсері, ұзақ мерзімді пайдаланудағы ББЗ-дың деградациясы мен жиналып қалуы әлі толыққанды қарастырылмаған мәселелерге жатқызылып, зерттеулерді талап етеді [14, 15].

Қорытынды

Ғалымдардың ізденістерін шолып, нәтижелерін талдау барысында комбинирленген немесе композитті ББЗ мен ББЗ-полимер жоғары нәтижеге ие екендігі байқалады. Сонымен қатар, тұтқырлығы жоғары карбонатты коллекторлардатыбиғи, фторлық және қышқылдық ББЗ пайдалану тиімділігі жоғары. Кернге жүргізілген зерттеулер нәтижесі бойынша мұнай бергіштікті арттырудың негізгі механизмі фаза аралық керілісті азайту мен ылғалдануды өзгерту болып табылатыны дәлелденген.

Бүгінгі таңда мұнай бергіштікті арттырудың барлық кен орындарында қолданыла беретін әмбебап бірегей әдісі жоқ, өйткені кен орындар бір-бірінен қабаттың коллекторлық, физика-химиялық жағынан әртүрлілігімен ерекшеленеді. Сондықтан әр кен орны үшін мұнай өндіру тиімділігін ұлғайту үшін әсер ету технологиясын жеке таңдау қажет. Беттік белсенді заттарды қолдану технологияларын зерттеудің ғылыми негізіне ерекше көңіл бөлген абзал. Беттік белсенді заттардың оң және теріс қасиеттерін зерттеп, оларды қолдану бойынша және мұнай бергіштікті арттыру технологиясына енгізу мүмкіндіктерін көрсететін көптеген жұмыстар зерделенді. Талдау нәтижесінде күрделі жағдайларда, ББЗ өзін пайдалану және деолардың қасиеттерін жақсартуға қабілетті аралас ерітінділермен (полимерлермен, тұздармен, қышқылдармен және басқа компоненттермен) бірге қолдану жағдайлары сапалы зерттеуді қажет ететін перспективалық бағыт деп нақты қорытынды жасауға болады.

ББЗ перспективалы зерттеу бағыттары ретінде жоғары температура мен тұзды ортаға төзімді полимер- ББЗ жүйені және оның жыныстағы әсерін молекулалық зерттеу жұмыстары мен био ББЗ мен полимерлерді интегерациялауды қарастыруға ұсынылады. 

Алғыс. Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің бағдарламалық-нысаналы қаржыландыруы шеңберінде орындалды (ИРН BR24992964).

ОДЕБИЕТ

- 1 Unsal E., Hammond P., Schneider M. Effects of surfactant on wettability and oil recovery in a pore network model // *Proceedings*. – 2011. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201404749>.
- 2 Massarweh O., Abushaikha A. S. The use of surfactants in enhanced oil recovery: A review of recent advances // *Energy Reports*. – 2020. – No. 6. – P. 3150–3178. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.009>.
- 3 Sharifi A., Miri R., Riazi M. A holistic review of harsh conditions resistant surfactants for enhanced oil recovery in dense carbonate reservoir // *Fuel*. – 2023. – No. 353. Art. 129109. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129109>.
- 4 Мусина Д. Н., Вагапов Б. Р., Сладовская О. Ю., Ибрагимова Д. А., Иванова И. А. Современные технологии повышения нефтеотдачи пластов на основе поверхностно-активных веществ // *Вестник технологического университета*. – 2016. – № 12(19). – С. 63. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26239885>. [Musina D. N., Vagapov B. R., Sladovskaya O. Yu., Ibragimova D. A., Ivanova I. A. Sovremennye tekhnologii povysheniya nefteotdachi plastov na osnove poverhnostno-aktivnyh veshchestv // *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. – 2016. – № 12(19). – С. 63. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26239885>.]
- 5 Al-Amodi A. O., Al-Mubaiyedh U. A., Sultan A. S., Kamal M. S., Hussein I. A. Novel fluorinated surfactants for enhanced oil recovery in carbonate reservoirs // *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. – 2015. – Vol. 94, No. 3. – P. 454–460. <https://doi.org/10.1002/cjce.22406>
- 6 Bagheri S. M. M., Nabipour M., Esfandiari N., Honarvar B., Azdarpour A. Chemical enhanced oil recovery in carbonate oil reservoirs using a combination of zwitterionic and cationic surfactants in the presence of different salts // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. – 2025. – Vol. 15, No. 4. <https://doi.org/10.1007/s13202-025-01973-1>.
- 7 Azam M. R., Tan I. M., Ismail L., Mushtaq M., Nadeem M., Sagir M. Static adsorption of anionic surfactant onto crushed Berea sandstone // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. – 2013. – Vol. 3, No. 3. – P. 195–201. <https://doi.org/10.1007/s13202-013-0057-y>
- 8 Chen W., Schechter D. S. Surfactant selection for enhanced oil recovery based on surfactant molecular structure in unconventional liquid reservoirs // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 196. Art. 107702. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107702>.
- 9 Isaac O. T., Pu H., Oni B. A., Samson F. A. Surfactants employed in conventional and unconventional reservoirs for enhanced oil recovery — A review // *Energy Reports*. – 2022. – Vol. 8. – P. 2806–2830. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.187>.
- 10 Алтунина Л. К., Кувшинов В. А., Стасьева Л. А., Кувшинов И. В., Козлов В. В. Нефтевытесняющая композиция ПАВ с регулируемой вязкостью для увеличения нефтеотдачи залежей высоковязких нефтей // *Георесурсы*. – 2016. – С. 281–288. <https://doi.org/10.18599/grs.18.4.5>. [Altunina L. K., Kuvshinov V. A., Stas'eva L. A., Kuvshinov I. V., Kozlov V. V. Neftevytesnyayushchaya kompozitsiya PAV s reguliruemoy vyazkost'yu dlya uvelicheniya nefteotdachi zalezhej vysokovyazkih neftej // *Georesursy*. – 2016. – С. 281–288. <https://doi.org/10.18599/grs.18.4.5>.]
- 11 Алтунина Л. К., Кувшинов В. А., Стасьева Л. А., Кувшинов И. В. Увеличение нефтеотдачи залежей высоковязких нефтей кислотными композициями на основе поверхностно-активных веществ, координирующих растворителей и комплексных соединений // *Георесурсы*. – 2019. – Т. 21, № 4. – С. 103–113. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.4.103-113>.

- [Altunina L. K., Kuvshinov V. A., Stas'eva L. A., Kuvshinov I. V. Uvelicheniye nefteotdakhizalezhej vysokovyazkih neftejkislotnyh kompozitsiyamina osnove poverhnostno-aktivnyh veshchestv, ko ordiniruyushchihrastvoritelej kompleksnyh soedinenij // Georesursy. – 2019. – Т. 21, № 4. – С. 103–113. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.4.103-113>].
- 12 Арсланова И. М., Прочухан К. Ю., Просочкина Т. Р., Никитина А. П., Прочухан Ю. А., Беленкова Н. Г., Арсланова Д. И. Изучение физико-химических особенностей ПАВ-полимерной системы для повышения нефтеотдачи // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 11. http://www.vniioeng.ru/_user_files/file/ants/oe/Oilfield_Engineering_2017-11_rus.htm. [Arslanova I. M., Prochuhan K. Yu., Prosochkina T. R., Nikitina A. P., Prochuhan Yu. A., Belenkova N. G., Arslanova D. I. Izuchenie fiziko-himicheskikh osobennostej PAV-polimernoj sistemy dlya povysheniya nefteotdachi // Neftyanoe hozyajstvo. – 2017. – № 11. http://www.vniioeng.ru/_user_files/file/ants/oe/Oilfield_Engineering_2017-11_rus.htm].
 - 13 Ахмедова Г. А., Рагимов Р. А., Абилова А. З., Насибова Ш. М., Мамедова Х. А. Роль полимерных поверхностно-активных веществ в повышении нефтеотдачи пластов. // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2025. – Т. 27, № 4. DOI: 10.17308/kcmf.2025.27/13252. [Ahmedova G. A., Ragimov R. A., Abilova A. Z., Nasibova Sh. M., Mamedova H. A. Rol' polimernyh poverhnostno-aktivnyh veshchestv v povyshenii nefteotdachi plastov. // Kondensirovannyye sredy i mezhfaznyye granicy. – 2025. – Т. 27, № 4. DOI: 10.17308/kcmf.2025.27/13252].
 - 14 Zhunisenov E., Sabirova A., Serikov G., Abbas A. Kh., Purafshari P. Impact of the naturally driven surfactant in EOR application: experimental, microscopic, and numerical analyses // ACS Omega. – 2023. Vol. 9, No. 1. P. 1327–1340. URL: <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07519>.
 - 15 Третьяков Н. Ю., Паничева Л. П., Турнаева Е. А., Волкова С. С., Адаховский Д. С., Матвеев М. Р., Кольцов И. Н., Громан А. А. Синтез и изучение свойств алкилфосфатов как поверхностно-активных компонентов щелочно-ПАВ- полимерного состава для повышения нефтеотдачи пластов // Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 147–158. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-1-147-158. [Ahmedova G. A., Ragimov R. A., Abilova A. Z., Nasibova Sh. M., Mamedova H. A. Rol' polimernyh poverhnostno-aktivnyh veshchestv v povyshenii nefteotdachi plastov. // Kondensirovannyye sredy i mezhfaznyye granicy. – 2025. – Т. 27, № 4. DOI: 10.17308/kcmf.2025.27/13252].