

Код МРНТИ 52.47.01:52.47.17

\*Ә.С. Хадиева<sup>1</sup>, Г.И. Джалалов<sup>2</sup><sup>1</sup>Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инженеринг университеті (Ақтау қ., Қазақстан),  
<sup>2</sup>Әзірбайжан Ұлттық Ғылым Академиясы (Баку қ., Әзірбайжан)

## ЖОҒАРЫ ТҮТҚЫРЛЫ МҰНАЙ ҚАБАТ МОДЕЛІНЕ ПОЛИМЕР ЕРІТІНДІСІН АЙДАУ ТӘЖІРИБЕСІНІҢ НӘТИЖЕЛЕРІ

**Аннотация.** Мұнай кен орындарын суландыру кезінде қабаттың әртүрлілігі мен судың біркелкі таралмауы ұңғымалардың ерте сулануына және мұнай беру тиімділігінің төмендеуіне себеп болады. Осы мәселені шешу үшін қабатқа әсер етудің түрлі әдістері қолданылады, олардың ішінде мұнайды ығыстыру тиімділігін арттыратын полимерлі суландыру технологиясы кеңінен қолданылады. Мақалада мұнай бергіштік коэффициентінің (МБК) айдалған су көлеміне және өлшемсіз уақытқа байланысты өзгерісін талдауға мүмкіндік беретін тәжірибелік модель сипатталған. Бұл модель ортаның өткізгіштігі мен кеуектілігін, флюидтердің физика-химиялық қасиеттерін және ығыстыру процесіне әсер ететін капиллярлық пен гравитациялық күштерді ескереді. МБК-ті есептеу материалдық баланс теңдеуінің негізінде жүргізіледі, ал мәліметтерді қалыпқа келтіру өлшемсіз уақыт арқылы жүзеге асырылады. Мұндай тәсіл ығыстыру тиімділігін тиімді бағалауға мүмкіндік береді.

**Үйіңді сөздер:** мұнай бергіштік коэффициенті, кеуек көлемі, кварц құмы, уақыт, су, полиакриламид, дистилденген су, мұнай, қабат.

### The results of experimental injection of polymer solution into a model of a high-viscosity oil formation

**Abstract.** When oil fields are flooded, formation heterogeneity and uneven water distribution lead to premature flooding of wells and a decrease in oil recovery efficiency. To solve this problem, various reservoir stimulation methods are used, among which polymer flooding technology is widely used, which increases the efficiency of oil displacement. The article describes an experimental model that allows analyzing the change in the oil recovery factor (ORF) depending on the injected water volume and dimensionless time. The model takes into account the permeability and porosity of the medium, the physicochemical properties of the fluids, as well as capillary and gravitational forces affecting the displacement processes. The RF is calculated on the basis of the material balance, and the data normalization is based on dimensionless time. This approach enables efficient evaluation of displacement efficiency.

**Key words:** oil recovery factor, pore volume, quartz sand, time, water, polyacrylamide, distilled water, oil, formation.

### Результаты экспериментальной закачки полимерного раствора в модель пласта с высоковязкой нефтью

**Аннотация.** При заводнении нефтяных месторождений неоднородность пласта и неравномерное распределение воды приводят к преждевременному обводнению скважин и снижению эффективности извлечения нефти. Для решения этой проблемы применяются различные методы воздействия на пласт, среди которых широко используется технология полимерного заводнения, повышающая эффективность вытеснения нефти. В статье описана экспериментальная модель, позволяющая проанализировать изменение коэффициента извлечения нефти (КИН) в зависимости от закачанного объема воды и безразмерного времени. Модель учитывает проницаемость и пористость среды, физико-химические свойства флюидов, а также капиллярные и гравитационные силы, влияющие на процессы вытеснения. Расчет КИН осуществляется на основе материального баланса, а нормализация данных – по безразмерному времени. Такой подход позволяет эффективно оценивать эффективность вытеснения.

**Ключевые слова:** коэффициент извлечения нефти, объем пор, кварцевый песок, время, вода, полиакриламид, дистиллированная вода, нефть, пласт.

### Кіріспе

Мұнай өндіру саласында қабаттардың мұнай бергіштік коэффициентін арттыру мақсатында су-мұнаймен қаныққан қабаттарға белсенді әсер ету әдістерін қолдану маңызды болып табылады. Бұл технологиялар қабаттардағы сұйықтықтарды қайта бөлуді жақсартып, су айдау аймағының қамтылуын арттыру арқылы мұнай қорларын неғұрлым толық әрі тиімді игеруге мүмкіндік береді.

Қазіргі кездегі көптеген теориялық және эксперименттік зерттеулерді бағалау барысында бірнеше маңызды факторлар қарастырылады. Мұнай кен орындарын игеру тиімділігіне әсер ететін ең маңызды факторлардың қатарында қабат жағдайындағы мұнай мен судың қозғалғыштық коэффициенттерінің арақатынасы, мұнайдың тұтқырлығы, мұнай бергіштік коэффициент көрсеткіштері сияқты сипаттамалар. Жоғары тұтқырлы мұнайды ығыстыру жағдайында, тіпті біртекті қабаттарда да, тұтқырлыққа байланысты орнықсыздық құбылысы туындайды, бұл мұнайды ығыстыру тиімділігін төмендетеді. Төмен тұтқырлықтағы мұнайы бар табиғи қабаттарда коллекторлық қасиеттердің айырмашылығы мұнай мен судың қабат ішінде біркелкі таралмауына әсер етеді. Суландыру жүйесінің тиімділігін арттыру үшін өнімді қабаттарға физика-химиялық әсер ету әдістерін енгізу арқылы жүзеге асырылуы мүмкін екендігін көрсетеді.

Соңғы жылдары физика-химиялық әсер ету әдістері тәжірибеде кеңінен қолданылады. Мұндай әдістердің құрамына беттік белсенді заттарды, полимерлерді, қышқылдарды, мицеллярлар және сілтілі ерітінділерді айдау жатады. Аталған химиялық реагенттердің әрқайсысы

кеуекті орта мен мұнайға өзіндік әсерін тигізеді. Мысалы, беттік-белсенді заттар мұнай мен су арасындағы фаза аралық беттік керілуді төмендету арқылы капилляр арнадағы мұнайдың қозғалғыштығын артырса, сілтілі реагенттер көбіне синергетикалық әсерді күшейту мақсатында қолданылады. Ал микрогельдер мен наногельдер – құрамында полимердің ұсақ бөлшектері бар химиялық реагенттер болып табылады. Олардың негізгі мақсаты – судың сіңірілетін аймақтардағы өткізгіштігін төмендету және орын ауыстырумен қамтылмаған аймақтарға суды бағыттау.

Мұнай қайтарымын арттырудың химиялық әдістері (EOR) қабатты қамту тиімділігін және қиын өндірілетін мұнайды алу дәрежесін жоғарылатуға бағытталған. Полимерлі ығыстыру процесін жүзеге асыру көбінесе судың сапасына, оны дайындау деңгейіне, сондай-ақ реагент құрамындағы әрбір компоненттің ұсталып қалу (адсорбциялану) шамасына тәуелді. Қазіргі уақытта полимерлі сулану – мұнай кен орындарында қолданылатын ең өзекті және тиімді айдау әдістерінің бірі болып табылады [1–3]. Суда еритін полимерлерді ерітіндіге қосу судың тұтқырлығын арттырады, нәтижесінде флюидтердің қозғалысын тиімді бақылауға мүмкіндік береді және судың мұнайға қатысты салыстырмалы өткізгіштігін төмендетеді. Полимер қозғалғыштығын азайту мақсатында су қосылады. Полимерлерді қолдану нәтижесінде су фазасының өткізгіштігі едәуір төмендейді, ал мұнайды сумен ығыстыру фронты теңестіріледі. Бұл ұңғымаларды суланусыз пайдалану кезеңін ұзартып, мұнайды алу тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

Полимерді айдау технологиясы әдетте жоғары температурада жүзеге асырылады.

Полимерді (немесе қорғаныш қоспаларын) дұрыс таңдау – полимерлі суландыру технологиясының негізгі факторы болып табылады. Бұл технологияны ұзақ мерзімді тиімді іске асыруда шешуші рөл атқарады. Кез келген зерттеудің алғашқы қадамы – қабатқа айдалынатын сұйықтықтың қажетті тұтқырлық деңгейін анықтау болып табылады. Осыдан кейін бірнеше негізгі параметрді ескере отырып, ең қолайлы полимерді таңдау кезінде келесі факторлар ескеріледі:

- қабаттың температурасы;
- айдалатын судың минералдану дәрежесі;
- қабаттың өткізгіштігі [4–6].

Полимер тау жынысына иондық күштер немесе сутектік байланыстары арқылы жабысады. Полимер молекулаларының тау жынысы бетіне бекінуі көбінесе қайтымсыз адсорбция ретінде қарастырылады. Сонымен қатар, өте ірі полимер молекулалары тар кеуекті арналардың кіреберісінде физикалық түрде бөгіліп қалуы мүмкін. Полимер ерітіндісі тау жыныстарымен және қабат суымен әрекеттескен кезде, ерітіндідегі полимер концентрациясы өзгереді. Соның нәтижесінде полимер фронты алдында қабат суы жиналып, оның артында полимердің белгілі бір мөлшерін жоғалтқан су қабаты түзіледі. Судың минералдану деңгейінің жоғарылауы мен қабат өткізгіштігінің төмендеуі жағдайында адсорбция деңгейі артады. Полимер ерітіндісінің тұтқырлығына саздың жоғары мөлшері, кальций, магний және алюминий катиондары айтарлықтай әсер етеді. Бұл полимер ерітіндісі тұтқырлығының төмендеуіне, сүзу кедергісінің азаюына және адсорбция деңгейінің өсуіне алып келеді [7, 8].

Әртүрлі факторлардың әсерінен сулы ерітіндідегі полимер молекулалары деструкцияға ұшырап, бұзылады. Деструкция полимердің молекулалық массасын азайтып, оның қоюлану қабілетін төмендетеді. Полимер деструкциясы келесі түрлерге бөлінеді: химиялық, термиялық, механикалық және микробиологиялық. Химиялық деструкция бос радикалдардың түзілу нәтижесінде жүреді, олар полимер молекуласымен әрекеттесіп, молекулалық массаның төмендеуіне әкеледі. Мұндай процес тотығу-тотықсыздану реакция кезінде байқалады, оған оттегі, сутегі немесе темір сульфиді сияқты қоспалар қатысады. Бұл қоспалар көбіне қабат суларында кездесетіндіктен, полимерлі суландыру кезінде судың сапасына ерекше мән беру қажет. Температураның жоғарылауымен термиялық деструкция жүреді. Полимердің әртүрлі маркалары үшін температураның төзімділік шегі әртүрлі болады. Механикалық деструкция полимер молекулаларының немесе олардың агрегаттарының жоғары қозғалыс жылдамдығында, сондай-ақ, құбырлардағы әртүрлі қысым айырмашылығының кенет өзгерісі кезінде үзілуіне байланысты туындайды. Полимердің молекулалық массасы мен тізбектерінің ұзындығы неғұрлым үлкен болса, оның механикалық деструкцияға сезімталдығы соғұрлым жоғары болады. Микробиологиялық деструкция мұнай қабатына су айдау кезінде пайда болатын аэробты бактериялардың әсерінен жүзеге асады. Бұл бактериялар мұнай құрамындағы компоненттерді тотықтыра отырып, полимер молекулаларын ыдыратуы мүмкін [9, 10].

Барлық өндірістік полимерлер іс жүзінде полиакриламидтер мен полисахаридтер (биополимерлер) болып, екі класқа

бөлінеді. Полимерді таңдау кезінде оның тұтқырлығы маңызды рөл атқарады. Полимердің тұтқырлығына әсер ететін бірнеше факторлар бар, және олардың процеске әсер ету мүмкіндігін ескеру қажет. Тұтқырлығы жоғары полимерлер қабаттың көлемдік қамтылу коэффициентін арттыруға мүмкіндік береді. Мұндай полимерлер, әсіресе өткізгіштігі жоғары қабаттарда, «гель» тәрізді қасиет көрсетіп, сұйықтық ағынын шектеуге қабілетті болып табылады. Егер полимердің тұтқырлығы жоғары болса, онда ол қабат суымен немесе су сыйымдылығы жоғары горизонттарда араласу дәрежесін төмендетеді. Тұтқырлық пен концентрацияның жоғарылауымен полимер үлкен көлемді ығыстыра алады, бұл үлкен артықшылығы болып табылады. Қолданылатын полимерлер жоғары тұтқырлықпен қатар, тиксотроптылы және псевдопластикалық қасиеттерге ие. Осы қасиеттерге сүйене отырып, әртүрлі маркадағы полимерлер таңдалады. Полимердің ішіндегі көп таралған түрі – синтетикалық полимер болып табылады. Синтетикалық полимердің ішіндегі – полиакриламид (ПАА) қолданысқа көп ие. Себебі, бағасы арзан және акрил қышқылының туындысы болып табылатын сызықты құрылымды полимер. Акриламид негізіндегі синтетикалық полиакриламидтер өздерінің жоғары реологиялық қасиеттері мен тұтқыр-серпімділік сипаттамаларына байланысты мұнай алуды ұлғайту әдістерінде кеңінен қолданылады. Бұл полимерлердің құрылымында амидтік және карбоксилаттық топтар бар. Олардың ішінде гидролизденген полиакриламид (НРАМ) мұнай кен орындарында қолдануға арналған ең кең таралған полимер болып есептеледі [11]. Акриламид – акрилонитрилден алынатын, суда жақсы еритін, ақ түсті кристалл тәрізді қосылыс. Оның құрамында электрон тапшылығы бар қос байланыс және амид тобы орналасқан, сондықтан ол осы екі функционалдық топқа тән химиялық реакцияларға түседі. Акриламид риттер реакциясы арқылы алынады: бұл реакцияда акрилонитрил мен изобутилен әрекеттесіп, терт – бутилсульфон қышқылы, күкірт қышқылы және су катализатор ретінде қолданылады. Нәтижесінде амид тобы бар мономер түзіледі. Қазіргі уақытта акриламидтің термиялық тұрақтылығын арттыру, әсіресе амид топтарының жоғары температурасындағы беріктігін қамтамасыз ету бағытында ғылыми зерттеулер жүргізілуде.

Полиакриламид бірқатар бірнеше құнды қасиеттерге ие. Олардың қатарында жоғары тұтқырлық, флокуляция қабілеті және гель түзушілік сияқты қасиеттерімен ерекшеленеді. Алайда, полиакриламиданың кейбір кемшіліктері де бар, олардың ішінде гидролизге бейімділігі ерекше атап өтіледі. Гидролиз нәтижесінде полиакриламид құрылымында карбоксилат топтарының пайда болуына әкеледі. Карбоксилат топтары гидрофильді сипатқа ие болғандықтан, молекула құрылымына суды тартады, нәтижесінде полиакриламид ісініп, толықтай еруі мүмкін. Мұндай өзгерістер полиакриламиданың технологиялық тиімділігін төмендетеді. Амид топтарының артық гидролизі әртүрлі факторлардың әсерінен болуы мүмкін. Оларға жоғары температура, ортаның қышқылдық дәрежесі және микроорганизмдердің белсенділігі жатады.

Полиакриламид молекулалық салмағының жоғары болуы, амидтік топтардың қатысуымен жүретін күшті молекулааралық өзара әрекеттесудің, сондай-ақ макромолекулалық тізбекте сирек кішірейтілген учаскелердің болуымен түсін-

діріледі. Бұл жағдай оның суда ерігіштік қабілетін шектейді. Сонымен қатар, полиакриламид молекулалық ассоциацияға бейім болып, ерітінді тұтқырлығын арттырады. Полиакриламид ерітінділері жоғары тұтқырлықпен және өзіне тән псевдопластикалық қасиеттермен (кеңейтілген сұйықтық, яғни Дарси заңына бағынбайды) сипатталады. Сондықтан қысым градиентінің өсуімен полимерлі ерітіндінің жылдамдығы аз ғана өседі. Тұщы суда карбоксил тобының зарядтарының өзара тебілуіне байланысты полиакриламид молекулалық тізбектері созылып, ерітіндінің тұтқырлығын арттырады. Ал керісінше, тұздылығы жоғары суларда бұл зарядтар бейтараптанады немесе иондық қабықшамен жабылады, нәтижесінде икемді тізбектері жиырылып, ерітінділердің тұтқырлығы төмендейді. Полиакриламид 130 °C-қа дейін ыстыққа төзімді болып, термиялық тұрақтылығын сақтай алады. Оттегі болмаған кезде полиакриламид ұзақ уақыт бойы өзінің қасиеттерін сақтайды [12]. Полимерлі ерітінділерді қолдану әртүрлі механизмдер арқылы бітеп тастауға немесе кеуекті ортаның сумен қанығу деңгейін төмендетуге мүмкіндік береді.

### Материалдар мен зерттеу әдістері

Коллектор моделіндегі кеуекті орта ретінде кварц құмы мен маршалиттің дисперстік қоспасы қолданылды. Белгілі бір өткізгіштікке ие үлгілерді алу мақсатында қоспа компоненттері әртүрлі массалық қатынаста араластырылып, маршалиттің үлесі реттелді. Құрамында 0.125–0.25 мм аралығындағы фракциядағы кварц құмы пайдаланылды. Алдын ала жүргізілген зертханалық зерттеулер барысында қоспаның абсолюттік өткізгіштігінің маршалиттің құрамдағы мөлшеріне тәуелділігі анықталып, бұл деректер негізінде қабат жағдайларына сәйкес компоненттердің оңтайлы қатынасы таңдалды. Абсолюттік өткізгіштік – бұл кеуекті ортаның белгілі бір физикалық жағдайларда сұйықтықтар мен газдарды өткізу қабілетін сипаттайтын маңызды параметр. Осы көрсеткішті анықтау мақсатында әртүрлі мөлшердегі маршалитпен дайындалған қоспаларға зертханалық жағдайда тәжірибелер жүргізіліп, олардың өткізгіштік мәндері өлшенді. Алынған нәтижелер арқылы кеуекті ортаның құрылымы мен құрамының өткізгіштікке әсері талданды.

Дайындалған қоспа белгілі геометриялық параметрлері бар цилиндр тәрізді лабораториялық модельге (сызықты типтегі) тығыздалып орналастырылды. Кеуекті ортаның сұйықтыққа қатысты өткізгіштігі Дарси заңы негізінде анықталды. Кейіннен материалдық баланс әдісі қолданылып, тәжірибе барысында алынған деректер – қабаттан шыққан судың көлемі, бастапқы және қалдық су көлемі (поджимкада) – негізінде кеуекті кеңістікте орналасқан судың мөлшері есептелінді. Бұл өз кезегінде зерттеліп отырған қабат моделінің кеуекті көлемін анықтауға мүмкіндік береді. Келесі кезеңде, кеуекті орта мұнаймен қанықтырылды. Қанықтыру аяқталғаннан кейін, модельге тұрақты жылдамдықпен су айдау процесі жүргізілді. Эксперимент барысында айдалған судың және ығыстырылған мұнайдың көлемдері анықталып, осы мәліметтер негізінде ығыстыру параметрлері есептелінді.

Айдалған су мен ығыстырылған мұнай көлемдері жүйелі түрде анықталды. Осы деректер негізінде ығыстыру

параметрлері есептелінді. Эксперимент барысында қысым көрсеткіштері шамамен  $\pm 0.05$  МПа дәлдікпен жұмыс істейтін үлгілік манометрлер көмегімен бақыланды. Олар ығыстыру процесі кезінде үлгінің кіріс және шығыс аймақтарындағы қысым айырмасын анықтауға қолданылды. Сұйықтық көлемдерін өлшеу үшін  $\pm 0.5$  мл дәлдігі бар мензуркалар арқылы жүргізілді. Барлық өлшеу құралдары қажетті техникалық талаптарға сәйкестігі тексерілді. Құралдардың дәлдігі алынған деректердің сенімділігіне әсер ететін негізгі фактор болғандықтан, эксперименттік нәтижелерді өңдеуге және мәліметтер динамикасын зерттеуге жол ашты.

### Нәтижелер мен талқылау

Бірінші кестеде кеуекті орта моделіне су айдау арқылы мұнайды ығыстыру нәтижелері өлшемсіз түрде келтірілген. Зерттеудің негізгі бағыты – салыстырмалы мұнай бергіштік коэффициент тиімділігінің ( $\eta_1$ ,  $\eta_2$ ) және айдалған су көлемінің ( $V/V_{кеу}$ ,  $V/V_{кеу}$ ) өлшемсіз уақытқа ( $t_b$ ) тәуелділігін талдау болып табылады. Негізгі назар салыстырмалы мұнай бергіштік коэффициентінің ( $\eta_1$ ,  $\eta_2$ ) және айдалған судың көлемінің ( $V/V_{кеу}$ ,  $V/V_{кеу}$ ) өлшемсіз уақытқа ( $t_b$ ) байланысты өзгерістерін талдауға бағытталды. Зерттеу барысында мұнайды ығыстыру тек дистилденген сумен жүргізілді. Мұнай өндіру тиімділігін арттыру мақсатында полиакриламид енгізу ұсынылды. Эксперимент барысында полимерлік ерітінді өткізгіштігі жоғары қабатқа түседі. Бірақ ерітіндінің жоғары тұтқырлығы мен кеуекті ортаның сүзілуінің төмендеуінен сұйықтық ағындарының динамикалық біртектілігі төмендейді. Бұл өз кезегінде сұйықтықтың қабаттарға таралу сипаттамасын өзгертеді. Соның нәтижесінде, сұйықтық көбірек бөлігі өткізгіштігі төмен қабатқа бағытталады. Бұл құбылыс біртекті емес қабаттардың мұнай алу тиімділігін арттыруға ықпал етеді. Осыған байланысты, ПАА ерітіндісін пайдалану арқылы қабаттағы өткізгіштік айырмашылықтар теңестіріледі. Бұл өткізгіштігі төмен қабаттың мұнай бергіштігін арттырады. Өткізгіштігі төмен қабатты игеруге қосу мақсатында, өткізгіштігі жоғары қабатқа 0,5% концентрациялы жиегі айдалады. Нәтижесінде, өткізгіштігі жоғары қабаттың мұнай бергіштік коэффициентінің өсуі баяулайды, ал өткізгіштігі төмен қабатта арта түседі. Бірінші эксперименттің нәтижесі бойынша, полиакриламидті қолданылғанға дейінгі бастапқы салыстырмалы мұнай бергіштік коэффициенті  $\eta_1 = 47\%$  мәнінде болса, ал полиакриламидті қолданып бастағаннан кейінгі ( $t = 0.42 - 0.88$  уақыт аралығында) бұл көрсеткіш  $\eta_2 = 66\%$ -ға дейін артқаны көрсетілді. Бұл нәтиже полиакриламид ерітіндісінің мұнайды ығыстыру тиімділігін едәуір жақсартатынын көрсетеді.

Екінші эксперимент нәтижелері бойынша, полиакриламид енгізілгенге дейінгі мұнай бергіштік коэффициентінің мәндік көрсеткіші  $\eta_1 = 20\%$  деңгейінде болды. Ал полиакриламидті қолданғаннан кейін,  $t = 0.42 - 0.88$  уақыт аралығында бұл көрсеткіш  $\eta_2 = 32\%$ -ға дейін артты. Мұндай нәтиже полиакриламидтің төмен бастапқы бергіштік жағдайында да мұнайды ығыстыру тиімділігін белгілі бір деңгейде жақсартуға ықпал ететінін көрсетеді.

## Кесте 1

Эксперименттердің нәтижелері. Мұнай бергіштік коэффициентінің өлшемсіз уақыт пен бастап айдалған судың мөлшеріне тәуелді көрсеткіштер

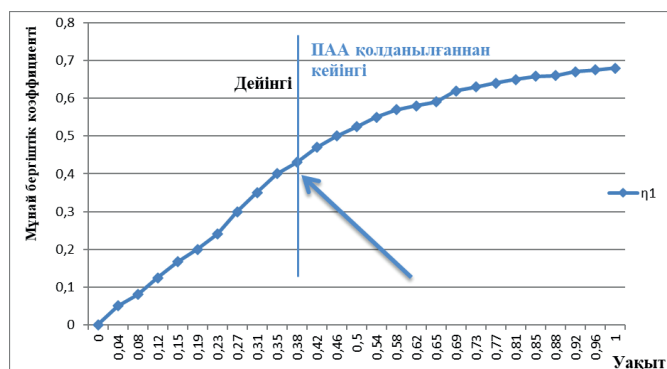
## Table 1

Experimental results: indicators of the dependence of oil recovery factor on dimensionless time and injected water volume

## Таблица 1

Результаты экспериментов. Показатели зависимости коэффициента извлечения нефти от времени и количества закачанной воды

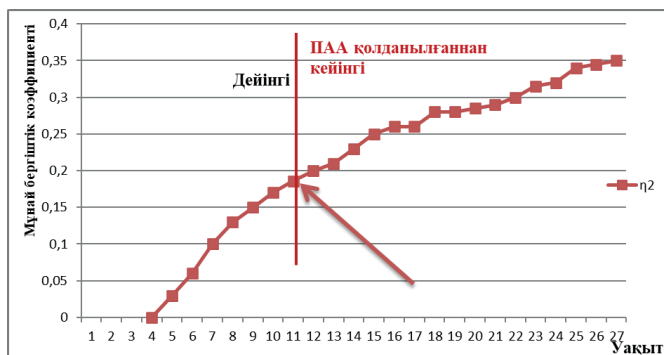
Параметрлер уақыт / Өлшемсіз	$\eta_1$	$\eta_2$	$V_1/V_{кеу}$	$V_2/V_{кеу}$
0	0		0	
0.04	0.05		0.08	
0.08	0.08		0.15	0
0.12	0.125	0	0.28	0.02
0.15	0.167	0.03	0.4	0.07
0.19	0.2	0.06	0.54	0.11
0.23	0.24	0.1	0.75	0.15
0.27	0.3	0.13	0.97	0.23
0.31	0.35	0.15	1.23	0.36
0.35	0.4	0.17	1.46	0.52
0.38	0.43	0.186	1.7	0.69
0.42	0.47	0.2	2.2	0.9
0.46	0.5	0.21	2.5	1.15
0.5	0.525	0.23	2.9	1.26
0.54	0.55	0.25	3.4	1.35
0.58	0.57	0.26	3.7	1.49
0.62	0.58	0.26	4.1	1.65
0.65	0.59	0.28	4.45	1.8
0.69	0.62	0.28	4.78	1.9
0.73	0.63	0.285	5	2
0.77	0.64	0.29	5.25	2.2
0.81	0.65	0.3	5.4	2.5
0.85	0.658	0.315	5.5	2.7
0.88	0.66	0.32	5.5	2.9



Сурет 1. Бірінші эксперименттің мұнай бергіштік коэффициентінің өлшемсіз уақытқа тәуелділігі.

Figure 1. Dependence of the first experiment oil recovery factor on dimensionless time.

Рис. 1. Зависимость коэффициента извлечения нефти первого эксперимента от времени.



Сурет 2. Екінші эксперименттің мұнай бергіштік коэффициентінің өлшемсіз уақытқа тәуелділігі.

Figure 2. Dependence of the second experiment oil recovery factor on dimensionless time.

Рис. 2. Зависимость коэффициента извлечения нефти второго эксперимента от времени.

1 және 2-суреттерімізде полиакриламид айдалғанға дейінгі және кейінгі мұнай бергіштік коэффициенттерінің өзгерісі көрсетілді. Суреттегі қызыл және көк түсті сызықтар айдауға дейінгі және айдаудан кейінгі жағдайларды бейнеленді, бұл полиакриламидті пайдалану барысында мұнай бергіштікке оң әсер еткенін көрсетеді. Суретте бейнеленген сызықтар мұнайды ығыстыру процесінің қарқындылық деңгейін және уақытқа байланысты өзгеру динамикасын көрнекті түрде көрсетеді. Өлшемсіз уақыттың  $t_b$  ұлғаюна қарай  $\eta_1$  мәнінің тұрақты өсуі алынған нәтижелерден байқалады, яғни бастапқы кезеңде 0.00-ден бастап  $t_b = 0.88$  аралығында 0.67-ге дейін өсті. Бұл көрсеткіш модельдің кеуек көлеміне қатысты айдалған судың көлемінің 0.00-ден 5.5-ке дейін біртіндеп ұлғаюына сәйке келеді. Қосымша ығыстырылған мұнай көлемінің пайда болуы,  $\eta_2$  мәнінің бастапқы кезеңде 0.00-ден  $t_b = 0.88$  кезінде 0,32-ге дейін артуымен және осы аралықта айдалған судың көлемінің  $V_2/V_{кеу} = 2.9$  мәніне жетуі жүйеде мұнайды ығыстырудың қосымша механизмі іске қосылғанын көрсетуі мүмкін. Бұл қосымша механизм ретінде қалдық мұнайдың қайта ығыстырылуы немесе жүйедегі сулану қабілетінің өзгеруімен түсіндіруге болады. Мұндай әсер, әсіресе полиакриламид сияқты реагенттердің қабат ішіндегі физика-химиялық қасиеттерге әсер етуімен тығыз байланысты болуы мүмкін.

## Қорытынды

Эксперименттің нәтижелері арқылы полиакриламидті қолданған кезде, мұнай бергіштік коэффициентінің тиімділігі артқаны көрсетілді. Атап айтқандай, мұнай бергіштік көрсеткіштері тиісінше 67% және 32%-ға артуы реагенттің оң әсерін сипаттады. Ең жоғары мұнай бергіштік көрсеткішіміз  $t_b = 0.42-0.88$  уақыт аралығында көрсетілсе, бұл кезеңде жүйеге қосымша 3.3 кеуектік көлем су айдалды. Сонымен қатар,  $\eta_1$  және  $V_1/V_{кеу}$  көрсеткіштері арасындағы өзара сызықты байланыс байқалады, бұл су айдау режиміне тән сипаттама болып табылады. Ал жүйенің ( $t_b = 0.12$  шамасында)  $\eta_2$  және  $V_2/V_{кеу}$  мәндерінің өсуі қабаттағы қалдық мұнайды ығыстырылуы мүмкін екендігін көрсетеді. Қоры-

тындылай келе, алынған нәтижелер полиакриламидтің қабат ішіндегі фильтрациялық процестерге әсер етіп, мұнай бергіштік коэффициент тиімділігінің артатынын көрсетеді.

#### АЛҒЫС

**Қаржыландыру.** Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Білім және Ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (АР22685524 гранты).

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Амер Әл-Анази, Зияд Әл-Қайдар, Джинхун Ван. Полиакриламид негізіндегі органикалық түрде тігілген гель жүйесінің гель түзу уақытын үлгілеу: қабаттағы ағындарды басқаруға арналған қолдану // SPE Ресейлік мұнай технологиялары конференциясы, Ресей, Мәскеу, 2019 жылғы 22–24 қазан (ағылшын тілінде)
2. Бабаев Э.Р., Мамедова П.Ш., Солтанова З.Г. Мұнайды ығыстыру агенттері ретінде қолдануға арналған су ерітіндісіндегі полимерлер негізіндегі композициялар // НефтеГазоХимия. 2016. № 3. Б. 17–19 (орыс тілінде)
3. Альказар-Вара Л.А., Замудио-Ривера Л.С., Буэнросто-Гонсалес Э. (2016 жылғы 19 қазан). Мұнай қайтарымын арттыру үдерісінде көпфункционалды реагенттерді қолдану // Химиялық тәсілмен мұнай алуды арттыру (EOR) – практикалық шолу. <https://www.intechopen.com/chapters/52245> (ағылшын тілінде)
4. Шарипов А.У., Антонов К.В., Лукманов Р.Р. Терең ұңғымаларды бұрғылау және аяқтау кезінде полимер ерітінділерін әзірлеу және қолдану: Уфа: Тау, 2003. 168 б. (орыс тілінде)
5. Бабаев Э.Р., Мамедова П.Ш., Солтанова З.Г. Мұнайды ығыстыруға арналған су ерітіндісіндегі полимерлер негізіндегі композициялар // НефтеГазоХимия. 2016. № 3. Б. 17–19 (орыс тілінде)
6. Федорова А.Ф., Портнягин А.С., Шиц Е.Ю. Оңтүстік-Батыс Якутия кен орындарының қабат жағдайларында полимер ерітінділерінің мұнайды ығыстыру қасиеттері // Мұнай-газ ісі. 2012. № 2. Б. 189–193 (орыс тілінде)
7. Мұнай өндіруде полимерлік реагенттерді қолданудың жаңа технологиялары / Шевцов И.А. [және т. б.] // Мұнай шаруашылығы. 2001. № 7. Б. 28–30 (орыс тілінде)
8. Джоуэн С., Клименко А., Левитт Д. Полимерлі сулану: Инъекциялық судағы еріген оттегі мен темірге арналған спецификацияларды орнату // Қағаз SPE 179614 Тулса, Оклахома, АҚШ, 11-13 сәуірде өткен SPE жақсартылған мұнайды қалпына келтіру конференциясында ұсынылған (ағылшын тілінде)
9. Химченко П.В. Температурасы жоғары және минералданған кен орындарында полимерлі сулануға арналған полимерді және полиакриламид негізіндегі композицияны таңдауды негіздеу: т.ғ.к. ... дәрежесін алу үшін дисс.: М., 2019 (орыс тілінде)
10. Смит Ф.В. Кеуекті ортадағы ішінара гидролизделген полиакриламид ерітінділерінің әрекеті // Мұнай өнеркәсібі. 1970. Т. 22. № 2. Б. 148–156 (ағылшын тілінде)
11. Полимерлі су айдау технологиясына шолу: реология, адсорбция, тұрақтылық және әртүрлі полимерлік жүйелердің өндірістік қолданылуы / Камаль М.С. [және т. б.] // Polym. Rev. 2015. Т. 55. Б. 491–530 (орыс тілінде)
12. Кукин В.В., Соляков Ю.В. Қабаттардың мұнай қайтарымын арттыру үшін су ерітіндісіндегі полимерлерді қолдану: М.: ВНИИОЭНГ, 1982. 44 б. (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Amer Al-Anazi, Ziyad Al-Kaidar, Jinxun Wang. Modeling Gilation Time of Organically Grosslinked Polyacrylamide Gel System for Conformance Control Applications // SPE Russian Petroleum Technology Conference, Russia, Moscow, October 22–24, 2019 (in English)
2. Babaev E.R., Mamedova P.Sh., Soltanova Z.G. Kompozitsii na osnove vodorastvorimyykh polimerov dlya primeneniya v kachestve agentov vytesneniya nefi [Compositions Based on Water-Soluble Polymers for Use as Oil Displacement Agents], NefteGazoKhimiya [Oil and Gas chemistry]. 2016. No. 3. 17–19 pp. (in Russian)
3. Alcazar-Vara L.A., Zamudio-Rivera L.S., Buenrostro-Gonzalez E. (October 19, 2016). Application on Multifunctional Agents During Enhanced Oil Recovery // Chemical Enhanced Oil Recovery (cEOR) – a Practical Overview. <https://www.intechopen.com/chapters/52245> (in English)
4. Sharipov A.U., Antonov K.V., Lukmanov R.R. Razrabotka i primeneniye polimernykh rastvorov pri burenii i zakanchivanii glubokikh skvazhin [Development and Application of Polymer Solutions for Drilling and Completion of Deep Wells]. Ufa: Tau, 2003. 168 p. (in Russian)
5. Babaev E.R., Mamedova P.Sh., Soltanova Z.G. Kompozitsii na osnove vodorastvorimyykh polimerov dlya primeneniya v kachestve vytesneniya nefi [Compositions Based on Water-Soluble Polymers for

- Oil Displacement Applications*], *NefteGazoKhimiya [Oil and Gas chemistry]*. 2016. No. 3. 17–19 pp. (in Russian)
6. Fedorova A.F., Portnyagin A.S., Shits E.Yu. *Neftevytesnyayushchie svoystva rastvorov polimerov v plastovykh usloviyakh mestorozhdenii Yugo-Zapadnoi Yakutii [Oil-Displacing Properties of Polymer Solutions Under Reservoir Conditions of South-West Yakutia Fields]*, *Neftegazovoe delo [Oil and Gas Business]*. 2012. No. 2. 189–193 pp. (in Russian)
  7. *Novye tekhnologii primeneniya polimernykh reagentov v dobyche nefti [New technologies for the use of polymer reagents in oil production]*, Shevtsov I.A. [et al.], *Neftyanoe khozyaistvo [Oil industry]*. 2001. No. 7. 28–30 pp. (in Russian)
  8. Jouenne S., Klimentko A., Levitt D. *Polimer Flooding: Establishing Specifications for Dissolved Oxygen and Iron in Injection Water // Paper SPE 179614 presented at the SPE Improved Oil Recovery Conference held in Tulsa, Oklahoma, USA, 11–13 April, 2016 (in English)*
  9. Khimchenko P.V. *Obosnovanie vybora polimera i kompozitsii na osnove poliakrilamida dlya polimernogo zavodneniya na mestorozhdeniyakh s vysokoi temperaturoi i mineralizatsiei: diss. ... na soiskanie k.t.n. [Justification of the choice of a polymer and composition based on polyacrylamide for polymer flooding at fields with high temperature and mineralization: diss. ... for the degree of candidate of technical sciences]*. Moscow, 2019 (in Russian)
  10. Smith F.W. *The behavior of partially hydrolyzed polyacrylamide solutions in porous media // J. Petrol. Technol.* 1970. V. 22. No. 2. 148–156 pp. (in English)
  11. Kamal M.S., Sultan A.S., Al-Mubaiyed U.A., Hussein I.A. *Obzor polimernogo zavodneniya: reologiya, adsorbtsiya, stabil'nost' i polevye primeneniya razlichnykh polimernykh sistem [A Review of Polymer Flooding: Rheology, Adsorption, Stability, and Field Applications of Different Polymer Systems]*, *Polym. Rev. [Polym. Rev.]*. 2015. V. 55. 491–530 pp. (in Russian)
  12. Kukin V.V., Solyakov Yu.V. *Primenenie vodorastvorimykh polimerov dlya povysheniya nefteotdachi plastov [Application of Water-Soluble Polymers to Enhance Oil Recovery from Reservoirs]*. Moscow: VNIIOENG, 1982. 44 p. (in Russian)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амер Ал-Анази, Зияд Ал-Кайдар, Джинхун Ван. *Моделирование времени гелеобразования органически сшитой гелевой системы на основе полиакриламида для применения в контроле контурного перераспределения потоков // Конференция SPE по нефтяным технологиям в России, Россия, Москва, 22–24 октября 2019 г. (на английском языке)*
2. Бабаев Э.Р., Мамедова П.Ш., Солтанова З.Г. *Композиции на основе водорастворимых полимеров для применения в качестве агентов вытеснения нефти // НефтеГазоХимия. 2016. № 3. С. 17–19 (на русском языке)*
3. Альказар-Вара Л.А., Замудио-Ривера Л.С., Буэнросто-Гонсалес Э. (19 октября 2016 г.). *Применение многофункциональных реагентов в процессе увеличения нефтеотдачи. Химическое повышение нефтеотдачи (сEOR) – практический обзор. <https://www.intechopen.com/chapters/52245> (на английском языке)*
4. Шарипов А.У., Антонов К.В., Лукманов Р.Р. *Разработка и применение полимерных растворов при бурении и заканчивании глубоких скважин: Уфа: Тау, 2003. 168 с. (на русском языке)*
5. Бабаев Э.Р., Мамедова П.Ш., Солтанова З.Г. *Композиции на основе водорастворимых полимеров для применения в качестве вытеснения нефти // НефтеГазоХимия. 2016. № 3. С. 17–19 (на русском языке)*
6. Федорова А.Ф., Портнягин А.С., Шиц Е.Ю. *Нефтевытесняющие свойства растворов полимеров в пластовых условиях месторождений Юго-Западной Якутии // Нефтегазовое дело. 2012. № 2. С. 189–193 (на русском языке)*
7. *Новые технологии применения полимерных реагентов в добыче нефти / Шевцов И.А. [и др.] // Нефтяное хозяйство. 2001. № 7. С. 28–30 (на русском языке)*
8. Джоуэн С., Климентко А., Левитт Д. *Полимерное заводнение: установление спецификаций для растворенного кислорода и железа в закачиваемой воде // Доклад SPE 179614, представленный на конференции SPE по улучшению нефтеотдачи, состоявшейся в г. Талса, штат Оклахома, США, 11–13 апреля 2016 г. (на английском языке)*
9. Химченко П.В. *Обоснование выбора полимера и композиции на основе полиакриламида для полимерного заводнения на месторождениях с высокой температурой и минерализацией: дисс. ... на соискание к.т.н.: М., 2019 (на русском языке)*
10. Смит Ф.В. *Поведение растворов частично гидролизованного полиакриламида в пористых средах // Нефтяная промышленность. 1970. Т. 22. № 2. С. 148–156 (на английском языке)*

11. Обзор полимерного заводнения: реология, адсорбция, стабильность и полевые применения различных полимерных систем / Камаль М.С. [и др.] // *Polym. Rev.* 2015. Т. 55. С. 491–530 (на русском языке)
12. Кукин В.В., Соляков Ю.В. Применение водорастворимых полимеров для повышения нефтеотдачи пластов: М.: ВНИИОЭНГ, 1982. 44 с. (на русском языке)

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Хадиева Ә.С.**, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, «Мұнайхимиялық инжиниринг» кафедрасының Ph.D докторанты (Ақтау қ., Қазақстан), [hadieva\\_albina@mail.ru](mailto:hadieva_albina@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-1123-0445>

**Джалалов Г.И.**, Әзірбайжан Ұлттық Ғылым Академиясы корреспондент мүшесі, т. ғ. д., профессор, Әзірбайжан Ұлттық Ғылым Академиясы «Мұнай және газ институты», «Қабат жүйелерінің гидрогазодинамикасы» зертханасының меңгерушісі (Баку қ., Әзірбайжан), [dzhalalovgarib@rambler.ru](mailto:dzhalalovgarib@rambler.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2801-8697>

**Information about the authors:**

**Khadiyeva A.S.**, Ph.D Doctoral Student of the Department of Petrochemical Engineering of the Caspian University of Technology and Engineering named after Sh.Yessenova (Aktau, Kazakhstan)

**Dzhalalov G.I.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of the Institute of Oil and Gas, Hydrogasdynamics of Reservoir Systems of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan)

**Сведения об авторах:**

**Хадиева А.С.**, Ph.D докторант кафедры «Нефтехимический инжиниринг» Каспийского университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова (г. Ақтау, Казахстан)

**Джалалов Г.И.**, д. т. н., профессор, заведующий лабораторией «Институт нефти и газа», «Гидрогазодинамика пластовых систем» Национальной Академии наук Азербайджана, член-корреспондент Национальной Академии Наук Азербайджана (г. Баку, Әзірбайжан)

**2026**30 сентябрь –  
2 октябрь

Қазақстан, Алматы

**KIOGE**  
OIL&GAS KAZAKHSTAN**30**  
YEARS  
OF  
SUCCESSПодробная информация:  
[www.kioge.kz](http://www.kioge.kz)[oilgas.events.kz](https://www.instagram.com/oilgas.events.kz)[oilgas.events.kz](https://www.facebook.com/oilgas.events.kz)