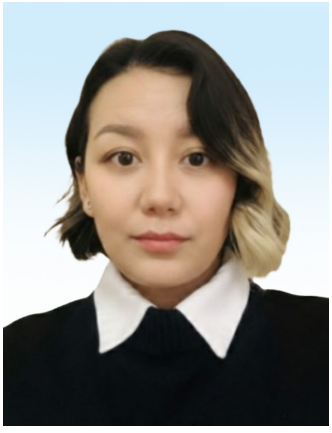
УДК 622.276.523; https://doi.org/10.37878/2708-0080/2026-3.13
orcid.org/0000-0001-7995-5560
orcid.org/0009-0003-9845-8123
orcid.org/0009-0000-1884-3696
orcid.org/0009-0005-6314-7768
orcid.org/0009-0008-5913-195X
orcid.org/0009-0005-6750-139X

КӨМІРСУТЕКТІ ҚАЛДЫҚ ҚОРЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУҒА ҚАТЫСТЫРУ ТУРАЛЫ ҒЫЛЫМИ-ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗДЕУ

Р.Т. СУЛЕЙМЕНОВА,
PhD,
raikhan.suleimenova@aogu.edu.kz

А.Е. ШАМШЕНОВА,
докторант,
a.shamshenova@aogu.edu.kz



А. НҰРБОЛАТҚЫЗЫ,
докторант,
a.nurbolatqyzy25@aogu.edu.kz

Г.Р. ҚАРАСАЕВА,
докторант,
K.Gulraushan@aogu.edu.kz

Г.Г. БЕРКАЛИЕВА, докторант, *g.berkalieva25@aogu.edu.kz*
М.А. ЖАНАЙ, докторант, *m.zhanai25@aogu.edu.kz*

САФИ ӨТЕБАЕВ АТЫНДАҒЫ АТЫРАУ МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ УНИВЕРСИТЕТІ
Қазақстан Республикасы, 060027, Атырау қ., Баймуханов к., 45А

Мақалада кен орындарын игерудің соңғы сатыларында қалдық алынатын мұнай қорларын ығыстыру сипаттамаларын пайдалану арқылы бағалау және болжау әдістері қарастырылған.

Зерттеудің мақсаты – жетілген кен орындарын қалыптасқан пайдалану жүйесі жағдайында қалдық қорларды игеруге тартуды бағалау үшін аналитикалық әдістерді қолданудың тиімділігін анықтау. Жұмыста Назаров-Сипачев, Максимов, Сазонов және Камбаров әдістері, сондай-ақ жинақталған өндірудің су-мұнай факторы логарифміне тәуелділігі мен меншікті өндірудің жинақталған өндіруге тәуелділігі қолданылды. Сонымен қатар салыстырмалы фазалық өткізгіштікке, мұнайды сумен ығыстыру коэффициентіне және жыныстардың капиллярлық сипаттамаларына эксперименттік зерттеулер жүргізілді.

Алынған нәтижелер зерттелген объектілер бойынша әлеуетті алынатын қорларды нақтылауға және мұнай беру коэффициентін арттыруға мүмкіндік беретінін көрсетті. Ығыстыру сипаттамаларын қолдану дренаждалмай қалған аймақтарды анықтауға және кен орындарын игеру тиімділігін арттыруға бағытталған іс-шараларды негіздеуге мүмкіндік беретіні анықталды. Зерттеудің ғылыми жаңалығы – кен орнының қазіргі игерілу жағдайын ескере отырып, қалдық қорларды болжаудың аналитикалық әдістерін кешенді қолдануында.

Жұмыстың практикалық маңызы ұсынылған тәсілді геологиялық-техникалық іс-шараларды жоспарлау және жетілген мұнай кен орындарын игеру жүйесін оңтайландыру барысында қолдану мүмкіндігімен айқындалады.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: *ұңғыма, қалдық қор, игеру, ығыстыру сипаттамалары, өндіру, талдау, математикалық модель.*

НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ

Р.Т. СУЛЕЙМЕНОВА, PhD, *raikhan.suleimenova@aogu.edu.kz*
А.Е. ШАМШЕНОВА, докторант, *a.shamshenova@aogu.edu.kz*
А. НҰРБОЛАТҚЫЗЫ, докторант, *a.nurbolatqyzy25@aogu.edu.kz*
Г.Р. ҚАРАСАЕВА, докторант, *K.Gulraushan@aogu.edu.kz*
Г.Г. БЕРКАЛИЕВА, докторант, *g.berkalieva25@aogu.edu.kz*
М.А. ЖАНАЙ, докторант, *m.zhanai25@aogu.edu.kz*

АТЫРАУСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА ИМ. САФИ УТЕБАЕВА
Республика Казахстан, 060027, г. Атырау, ул. Баймуханова, 45а

В статье рассмотрены методы оценки и прогнозирования остаточных извлекаемых запасов нефти на поздних стадиях разработки месторождений с использованием характеристик вытеснения.

Целью исследования является определение эффективности применения аналитических методов для оценки вовлечения остаточных запасов в разработку в условиях сформированной системы эксплуатации зрелых месторождений. В работе использованы методы Назарова-Сипачева, Максимова, Сазонова и Камбарова, а также зависимости накопленной добычи от логарифма водонефтяного фактора и удельной добычи от накопленной добычи.

Проведены экспериментальные исследования относительных фазовых проницаемостей, коэффициентов вытеснения нефти водой и капиллярных характеристик пород.

Полученные результаты показали возможность уточнения потенциально извлекаемых запасов и повышения коэффициента нефтеотдачи для исследуемых объектов. Установлено, что применение характеристик вытеснения позволяет выявлять неохва-

ченные зоны дренирования и обосновывать мероприятия по повышению эффективности разработки месторождений. Научная новизна исследования заключается в комплексном применении аналитических методов прогнозирования остаточных запасов с учетом текущего состояния разработки месторождения.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования предложенного подхода при планировании геолого-технических мероприятий и оптимизации системы разработки зрелых нефтяных месторождений.

***КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** скважина, остаточные запасы, добыча, характеристики вытеснения, анализ, математическая модель.*

SCIENTIFIC-METHODOLOGICAL JUSTIFICATION OF THE USE OF RESIDUAL RESERVES OF HYDROCARBONS

R.T. SULEIMENOVA, PhD, *raikhan.suleimenova@aogu.edu.kz*
A.E. SHAMSHENOVA, doctoral student, *a.shamshenova@aogu.edu.kz*
A. NURBOLATKYZY, doctoral student, *a.nurbolatqyzy25@aogu.edu.kz*
G.A. KARASAYEVA, doctoral student, *K.Gulraushan@aogu.edu.kz*
G.G. BERKALIEVA, doctoral student, *g.berkalieva25@aogu.edu.kz*
M.A. ZHANAI, doctoral student, *m.zhanai25@aogu.edu.kz*

ATYRAU UNIVERSITY OF OIL AND GAS NAMED AFTER SAFI UTEBAYEV
Republic of Kazakhstan, 060027, Atyrau, Baimukhanov st., 45a

The article discusses methods for assessing and forecasting residual recoverable oil reserves at the late stages of field development using displacement characteristics. The purpose of the study is to determine the effectiveness of analytical methods for evaluating the involvement of residual reserves in development under the conditions of an established operation system of mature fields.

The study employs the methods of Nazarov–Sipachev, Maksimov, Sazonov, and Kambarov, as well as the relationships between cumulative production and the logarithm of the water-oil ratio and between specific production and cumulative production. Experimental studies of relative phase permeability, oil displacement coefficients by water, and capillary characteristics of rocks were conducted.

The obtained results demonstrated the possibility of refining potentially recoverable reserves and increasing the oil recovery factor for the studied objects. It was established that the application of displacement characteristics makes it possible to identify undrained zones and justify measures aimed at improving the efficiency of field development.

The scientific novelty of the study lies in the integrated application of analytical methods for forecasting residual reserves while considering the current state of field development.

The practical significance of the work consists in the possibility of using the proposed approach for planning geological and technical measures and optimizing the development system of mature oil fields.

***KEYWORDS:** well, residual reserves, production, displacement characteristics, analysis, mathematical model.*

Вірспе. «Кен орнын игерудің соңғы кезеңінде қалдық қорларды игеруге тартуды ығыстыру сипаттамаларын қолдана отырып болжау» атты жұмыстарын талдап қарағанда, ығыстыру сипаттамалары негізінде кенорындарының кеш кезеңдеріндегі қалдық қорларды болжаудың әртүрлі әдістері қарастырылған, авторлар қалдық қорлардың игерілуге тартылуын бағалау үшін гидродинамикалық модельдеу және машиналық оқыту әдістерін қолдануды ұсынады. Зерттеулер Қытайдағы кен орны деректері негізінде жүргізіліп, қалдық қорлардың игерілуге

тартылуын болжаудың жоғары дәлдігін көрсетті [1–3]. «Ығыстыру сипаттамаларын қолдана отырып, кенорындарының кеш кезеңдеріндегі қалдық қорларды анықтау» атты жұмыста кенорындарының кеш кезеңдеріндегі қалдық қорларды анықтау әдістері қарастырылған, авторлар қалдық қорларды болжау үшін енгізілетін сұйықтықты ығыстыру процесін модельдеуді және игерудің кеш кезеңдеріндегі қысым өзгерісін бағалауды ұсынады, мұнда «Мұнай кенорындарын игеру теориясы» атты кітабы мұнайдың қалдық қорларын игеруге тарту ерекшеліктерін зерттеуде құнды дереккөз болып табылады [4-5].

Мұнайдың қалдық қорлары – бұл дәстүрлі өндіру әдістерімен алынбайтын мұнай қорының едәуір бөлігін құрайды. Лысенко еңбегінде қалдық қорларды игеруге тартудың әртүрлі әдістері мен технологиялары жан-жақты талданған, олардың қатарында: жылулық әсер ету технологиялары, гидротермиялық ыдырату, бу айдау, жарылыс әдістері және басқа да тәсілдер қарастырылған [6]. Осылайша, кен орнын игерудің соңғы кезеңінде қалдық қорларды игеруге тартуды болжау үшін ығыстыру сипаттамаларын пайдалану перспективалы бағыт болып табылады және мұнай өндіру тиімділігін арттыруға әкелуі мүмкін.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Мақалада ұзақ уақыт бойы қалыптасқан игеру жүйесі жағдайында игерілуге тартылған қорларды талдау үшін ең кең таралған ығыстыру сипаттамаларының бірқатары қолданылды, олар 1-кестеде келтірілген. Көрсетілген ығыстыру сипаттамалары кен орнын белсенді су қысымы режимінде игеру барысында нақты нәтижеге барынша жақын көрсеткіштерді береді [6-7].

Жиынтық өндірудің Ln(ВНФ)-ке тәуелділігі әдісі бойынша игерілуге тартылған қорлар келесі формула арқылы анықталады:

$$Q_{ввл}=(w-b)/a \quad (1)$$

мұндағы: w – игерудің соңындағы шекті сулану (98%); a, b – игеру тарихының сызықтық учаскесі бойынша анықталатын эмпирикалық коэффициенттер; a – $Ln(ВНФ)$-тің $Qнакп$-ке тәуелділігі; b – $(Ln(ВНФ) – Qнакп)\cdot a$, мұндағы $Ln(ВНФ)$ және $Qнакп$ – таңдалған кезең үшін орташа мәндер.

Келесі ығыстыру сипаттамасы әдісі – мұнай өндіру деректерін талдаудың инженерлік әдісі болып табылады, ол уақыт өте келе өндіру қарқыны белгілі бір заңдылық бойынша төмендейді деген болжамға негізделген. Бұл әдіс мұнай-газ өнеркәсібінде болашақ өндіру көлемін болжау, қалдық қорларды бағалау және кенорындарын игеру стратегияларын оңтайландыру үшін кеңінен қолданылады [8, 11].

Меншікті өндірудің ($q_{уд}$) жиынтық өндіруге тәуелділігі – бұл уақыт бойынша мұнай өндіру қарқынының (меншікті өндірудің) жиынтық өндіруге байланысты өзгерісін сипаттайтын ығыстыру сипаттамасының бір түрі. Ол келесі теңдеу арқылы өрнектеледі:

$$Q_{ввл}=(q_{мин}-b)/a \quad (2)$$

мұндағы: $q_{мин}$ – минималды дебит (0,5 т/тәу); a, b – игеру тарихының сызықтық учаскесі бойынша анықталатын эмпирикалық коэффициенттер; a – $q_{уд}$-тың $Q_{накп}$ -ке тәуелділігі; b – $(q_{уд}-Q_{накп})*a$, $q_{уд}$, мұндағы $q_{уд}$ және $Q_{накп}$ – таңдалған кезең үшін орташа мәндер.

Бұл теңдеу жиынтық өндіру артқан сайын меншікті өндірудің экспоненциалды түрде төмендеуін сипаттайды. b коэффициенті көбінесе құлдырау коэффициенті деп аталады және өндіру қарқынының төмендеу жылдамдығын сипаттайды.

Аталған ығыстыру сипаттамасы әдісі тарихи өндіру деректеріне негізделе отырып, теңдеу параметрлерін бағалауға және оларды болашақ өндіруді болжау үшін қолдануға мүмкіндік береді. Бұл кенорындарын игеруді жоспарлау және өндірудің оңтайлы стратегияларын анықтау үшін тиімді құрал болып табылады.

М.И. Максимов мұнайды сумен ығыстыру процесін қабат моделінде зерттеген, ол құммен толтырылған құбыр түрінде ұсынылған. Осы зерттеу нәтижесінде жинақталған су өндіру көлемі мен жинақталған мұнай өндіру көлемі арасында эмпирикалық байланыс анықталған.

Жүргізілген талдау негізінде М.И. Максимов жинақталған мұнай мен су өндіру көлемдері арасындағы тығыз өзара байланысқа негізделген әдісті ұсынды. Бұл байланыс мұнай кенорындарын игерудің соңғы кезеңінде ерекше айқын байқалады [9–11].

Осы әдіске сәйкес, жинақталған су өндіру көлемі (Vв) мен жинақталған мұнай өндіру көлемі (Vн) арасындағы тәуелділік көрсеткіштік функция теңдеуімен сипатталады.

$$V_в = ba^{V_н} \quad (3)$$

мұндағы $V_в$ – Қабат жағдайындағы жиынтық су өндіру; $V_н$ – Қабат жағдайындағы жиынтық мұнай өндіру; *a, b* – эмпирикалық коэффициент.

Осы әдіске сәйкес, тәуелділік жартылай логарифмдік координаттарда құрылады: $Y = ln\ Vв,\ X = Vн$. Алынған тәуелділіктің соңғы бөлігінде график бұрыштық коэффициенті a = lnα және ордината осімен қиылысу нүктесі $b = ln\beta$ болатын түзу сызық түрінде көрінеді. Құрылған тәуелділіктен сызықтық сегмент бөлініп алынып, сол бойынша *a* және *b* эмпирикалық коэффициенттері анықталуы тиіс. Бұл тәуелділік қисықтың соңғы бөлігінде сызықтық түрге жақындайтынын ескеру қажет. Сондықтан $Vв = f(Vн)$ тәуелділігін неғұрлым дәл көрсету үшін дәл осы соңғы учаскеге сәйкес келетін мәндер таңдап алынады. Берілген деректер бойынша *a* және *b* сызықтық аппроксимация коэффициенттері ең кіші квадраттар әдісі арқылы анықталады. М.И. Максимовтың тұжырымы бойынша, сұйықтықты қарқынды іріктеу және қабатқа ығыстыру агенттерін (нақтырақ айтқанда, су айдау кезінде) енгізу аталған ығыстыру сипаттамасы әдісінің соңғы бөлігінің түзу сызықты болуына айтарлықтай әсер етпейді. Осыдан бұл әдісті қабат қысымын ұстау (ҚҚҰ) жүйесі бар кенорындарында су айдау арқылы игерілетін қорларды болжау үшін қолдануға болатындығы шығады [12-13,15]. Келесі теңдеуді қарастырайық:

$$V_{ж} = V_н + baVн \quad (4)$$

Уақыт бойынша дифференциалдай отырып, келесі өрнекті аламыз:

$$\frac{dV_{ж}}{dt} = \frac{dV_н}{dt} + \frac{d(ba^{V_н})}{dV_н}\frac{aV_н}{dt} \quad (5)$$

$$\frac{dV_{ж}}{dt} = (1 + ba^{V_н} \ln a)\frac{dV_н}{dt} \quad (6)$$

Сұйықтық көлемінің өзгерісіне қатысты мұнай көлемінің өзгерісі *fн* функциясымен анықталатындықтан, мұнайдың шекті мөлшерін *fн* мәні арқылы белгілей отырып, қабат жағдайындағы мұнайдың қалған қорларын есептеуге болады.

$$1 = f_н + f_н a^{V_н} b \ln a \tag{7}$$

$$\ln\left(\frac{1-f_н}{f_н b \ln a}\right) = \ln(a^{V_н}) \tag{8}$$

$$V_н = \frac{1}{\ln a} \ln\left(\frac{1-f_н}{f_н b \ln a}\right) \tag{9}$$

Осылайша, *fн* мәні белгіленген жағдайда мұнайдың игерілуге тартылған қорлары келесі формула бойынша анықталады:

$$V_{н.изв.}\left(f_{в.пред}\right) = \frac{1}{a} \ln\left(\frac{1-f_н}{(f_н) a e^b}\right) \tag{10}$$

Осылайша, суланудың белгілі бір шекті мәні *fв* үшін мұнайдың игерілуге тартылған қорлары келесі өрнекке сәйкес есептеледі.:

$$V_{н.изв.}\left(f_{в.пред}\right) = \frac{1}{a} \ln\left(\frac{f_в}{(1-f_в) a e^b}\right) \tag{11}$$

Мұндағы *a* және *b* – ең кіші квадраттар әдісі арқылы анықталатын сызықтық аппроксимация коэффициенттері болып табылады [14-15].

Коэффициенттерді (a және b) анықтау үшін барлық жағдайларда соңғы нүктелер пайдаланылады, бұл әдістерді біртұтас аппроксимация кезеңіне келтіруге мүмкіндік береді. Нүктелер саны еркін таңдалады (кемінде 5), негізінен тәуелділік учаскесін жоғары сенімділік дәрежесімен (R^2) сызықтық аппроксимациялауға болатын шартқа сүйене отырып, яғни {x} және {y} арасындағы сызықтық тәуелділік теңдеуін анықтау үшін.

1-кесте – **Жүргізілген арнайы зерттеулер түрлері**

Зерттеу түрі	**Саны**
Капиллярлық қысым қисықтары, үлгі	4
Мұнай–су жүйесіндегі салыстырмалы фазалық өтімділік, модель/үлгі	3/9
Сумен мұнайды ығыстыру коэффициенті, модель/үлгі	4/11

Коллектордағы флюидтердің миграциясын бақылау мақсатында өнімді қабаттың физикалық модельдерінде мұнайды сумен ығыстыру коэффициентін, салыстырмалы фазалық өткізгіштікті, капиллярлық қысымды және Х кен орны жыныстарының суланғыштығын анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізіледі. Ұңғымалар бойынша арнайы зерттеулер талданады. Әрі қарай эксперимент нәтижелерінің талдауы келтіріледі. *1-кестеде* жүргізілген арнайы зерттеулер кешені және пайдаланылған үлгілер саны көрсетілген.

«Мұнай–су» жүйесінде салыстырмалы фазалық өтімділіктерді анықтау. Тәжірибе 9 керн үлгісінің ішінен алынған 3 модельде жүргізілді. Эксперименттің қорытынды нәтижелері *2-кестеде* келтірілген.

Керн материалының сүзілу-сыйымдылық және физикалық-химиялық қасиеттерін зерттеу қолданыстағы салалық және халықаралық стандарттарға сәйкес жүргізілді. Үлгілердің кеуектілігі мен өткізгіштігін анықтау МЕМСТ (ГОСТ) 26450.1–85 және МЕМСТ (ГОСТ) 26450.2–85 талаптарына сәйкес орындалды. Қалдық мұнайға қаныққандықты, капиллярлық сипаттамаларды және жұғымдылық параметрлерін анықтау мұнай-газ саласында қолданылатын жалпыға бірдей қабылданған зертха-

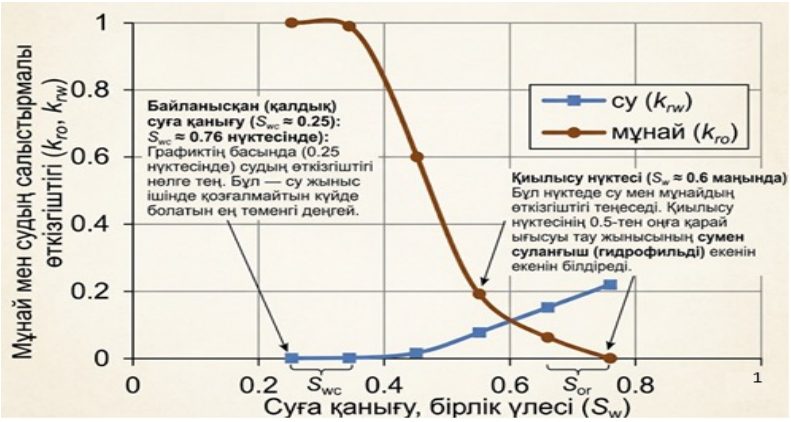
2-кесте – **Су–мұнай жүйесіндегі салыстырмалы өтімділік**

Модель номері	Керн бойынша мәлеметтер		Эксперимент нәтижесі				
	терендігі, м	кеуектілігі, %	Газ бойынша өтімділігіу, мД	Қалдық суға қанықкандылығы Swir, бірліктердің бөлшектері.	Қалдық мұнайға қанықкандылығы Sor,бірліктердің бөлшектері.	Sor, Су бойынша салыстырмалы өтімділік, бірліктердің бөлшектері.	Swir Мұнай бойынша салыстырмалы өтімділік,бірліктердің бөлшектері.	Сумен мұнайды ығыстыру коэффициенті, бірліктердің бөлшектері.
1	855,38; 856,17; 856,87	37,99	1946,67	0,246	0,169	0,219	1	0,78
2	887,54; 887,79; 888,59	37,97	1846,67	0,297	0,23	0,219	1	0,67
3	850,42; 850,74; 851,58	36,05	1586,67	0,287	0,228	0,151	1	0,68

налық әдістемелер бойынша жүзеге асырылды. Эксперименттік деректерді өңдеу және тәуелділіктерді құру статистикалық аппроксимация және регрессиялық талдау әдістерін қолданумен орындалған.

Нәтижелер және талқылаулар

Салыстырмалы өтімділіктерді анықтау нәтижелері бойынша қалдық суға қанығу 0,246–0,297 үлес бірлігі аралығында өзгеріп, орташа мәні 0,277 үлес бірлігін құрайды. Салыстырмалы өтімділік қисықтары *1-суретте* көрсетілген.



1-сурет – **Мұнай мен су үшін салыстырмалы өтімділік қисықтары**

Салыстырмалы фазалық өтімділік қисықтарының үлгілерде қиылысуы жыныстардың гидрофильді екенін сипаттайды. «Мұнай–су» жүйесінде ығыстыру коэффициентін анықтауда, мұнайды ығыстыру коэффициенті 11 үлгі бойынша анықталып, олардың негізінде 4 қабат моделі құрастырылды. Алынған салыстырмалы фазалық өткізгіштіктер k_{ro}, k_{rw} қисықтарын талдау фазалардың гидродинамикалық алмасуының классикалық сипатын көрсетеді, алайда қисықтардың өзгеру қарқындылығы зерттелетін үлгілердің бос кеңістігі құрылымының ерекшелігін байқатады. Анықталған тәуелділіктердің себептері. суланудың бастапқы кезеңінде мұнай фазасына арналған салыстырмалы өткізгіштіктің k_{ro} күрт төмендеуі кеуекті арналардың гидрофильді жұғымдылық сипатына байланысты. Су жұғымтал фаза ретінде ең тар субкапиллярлық арналар мен кеуектер бойымен ілгерілеп, олардағы мұнай сүзілуін блоктайды және оның оқшауланған тамшыларға диспергиялануын (бытырауын) тудырады. Кейінгі кезеңдерде су фазасына арналған өткізгіштік қисығының (k_{rw}) баяу өсуі кеуектердің микрокұрылымының жоғары кедергісін және мұнай беттік тартылыс күштерімен ұсталып тұратын тоқырау аймақтарының (капиллярлық тұзақтардың) бар екенін дәлелдейді. Бұның ішінде ең көп әсер ететін факторлар, салыстырмалы фазалық өтімділік қисықтарының сипатына кеуектердің тарылу (сығылу) геометриясы және бастапқы мұнайға қаныққандық (S_w) ең көп әсер етеді. Өткізгіштігі төмен үлгілердегі кеуектердің жоғары меншікті беті салыстырмалы фазалық өтімділік қисықтарының қиылысу нүктесін (тең өткізгіштік нүктесін) солға, суға қаныққандықтың азырақ аймағына қарай ығыстырады, бұл игеру процесінде судың ертерек серпіп шығуын білдіреді. Мұнайды ығыстыру коэффициенті 0,60–0,80 үлес бірлігі аралығында өзгеріп, орташа мәні 0,73 үлес бірлігін құрайды (*3-кесте*).

3-кесте – **Сумен мұнайды ығыстыру коэффициентін анықтау нәтижелері**

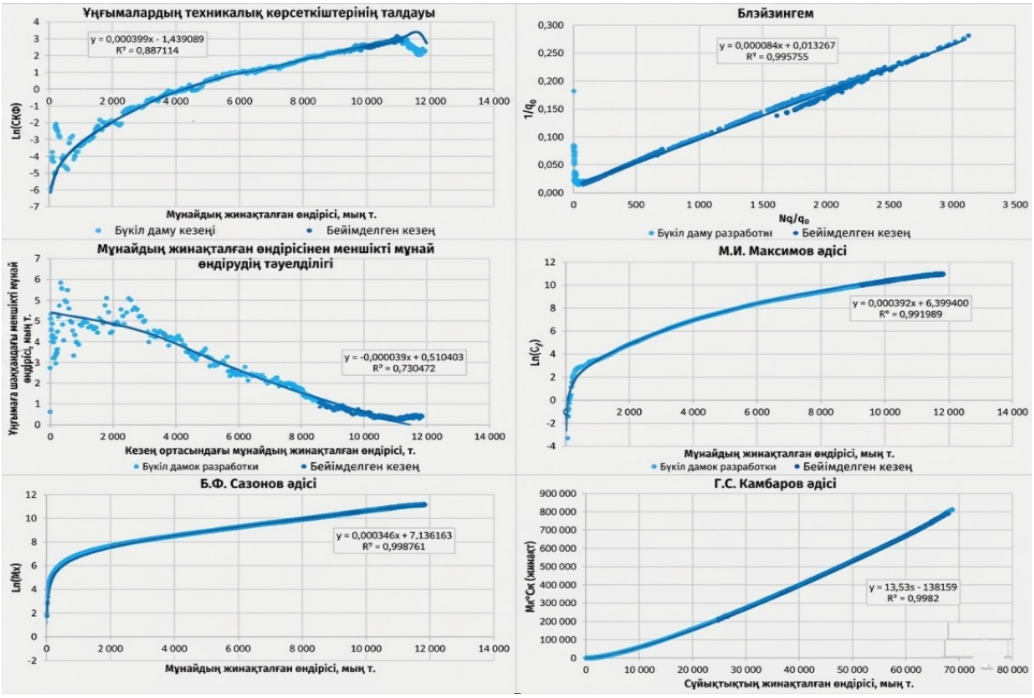
модель номері	тереңдігі, м	кеуектілігі, %	Газ бойынша өтімділігіу, мД	Қалдық суға қанықкандылығы Swir, бірліктердің бөлшектері.	Қалдық мұнайға қанықкандылығы Sor,бірліктердің бөлшектері.	Сумен мұнайды ығыстыру коэффициенті, β, бірліктердің бөлшектері.
1	851,07; 852,44; 859,55	35,49	1626,67	0,263	0,147	0,801
2	853,73; 854,06; 856,6	33,89	1449	0,282	0,209	0,709
3	889,88; 890,38; 891,54	36,24	1176,33	0,251	0,154	0,79
4	850,05; 852,18	31,69	1185	0,27	0,294	0,597

Эксперимент нәтижелері бойынша S*wir* мәндері 0,246–0,287 үлес бірлігі аралығында өзгеріп, орташа мәні 0,269 үлес бірлігін құрайды; Sor – 0,147–0,294 үлес бірлігі аралығында, орташа мәні 0,209 үлес бірлігімен сипатталады. Сумен мұнайды ығыстыру коэффициентінің мәндері 0,597–0,800 үлес бірлігі аралығында өзгеріп, орташа есеппен 0,713 үлес бірлігін құрайды.

Игеру жағдайының ағымдағы күйін талдау және ығыстыру сипаттамаларын құру бойынша жинақталған білім негізінде игеруге тартылған алынатын мұнай қорларын бағалау үшін Назаров С.Н. және Сипачев Н.В. әдістемелері бойынша ығыстыру сипаттамалары, сондай-ақ жинақталған өндірудің *Ln*(ВНФ)-ке тәуелділігі, меншікті өндірудің жинақталған өндіруге тәуелділігі әдістері бойынша есептеулер жүргізілді. Есептеу нәтижелері объектілер бойынша *2-суреттерде* келтірілген. Аталған әдістемелер қалыптасқан игеру жүйесі жағдайында игерудің соңғы сатысына дейін тартылатын қорларды анықтауды көздейді.

Алдымен, есептеулер нәтижесінде алынған игеруге тартылған қорларға қол жеткізу мүмкіндігін бағалау үшін барлық үш объект бойынша базалық өндіру есебі жүргізілді, яғни кен орнын қолданыстағы ұңғымалар қоры арқылы игеруді жалғастыру, мұнай дебитінің ағымдағы төмендеу қарқынын сақтай отырып, шекті сулану деңгейі 98%-ға дейін жеткізу қарастырылды.

І объект бойынша көлденең және тік ұңғымаларды орналастыру нәтижесінде және игерудің технологиялық көрсеткіштері бойынша жүргізілген кейінгі есептеулерге сәйкес, мұнай өндірудің жылдық көлемдерінің және мұнайды алу коэффициентінің (КИН) артқаны байқалады. Атап айтқанда, шекті сулану 98% болған жағдайда КИН 0,580-нен 0,720-ға дейін өсті. Бұл есептеулер І объектіде ұңғымаларды бұрғылау бойынша жүргізілген іс-шаралардың технологиялық тиімділігін көрсетеді. Алынған нәтижелер негізінде ығыстыру сипаттамаларын құру және игерудің ағымдағы жағдайын талдау арқылы игеруге тартылған мұнайдың алынатын қорларын бағалау мақсатында Назаров С.Н. және Сипачев Н.В. әдістемелері бойынша ығыстыру сипаттамалары, *Ln(*ВНФ)-ке тәуелді жиынтық өндіру, меншікті өндірудің жиынтық өндіруге тәуелділігі, сондай-ақ Максимов М.И., Сазонов Б.Ф., Камбаров Г.С.



2-сурет – **I объект бойынша ығыстыру сипаттамалары**

әдістері бойынша тәуелділіктер тұрғызылды. Есептеу нәтижелері объектілер бойынша *4-кестеде* және *2-суреттерде* көрсетілген. Аталған әдістемелер қалыптасқан игеру жүйесі жағдайында игерудің соңғы сатысына дейін тартылған қорларды анықтауды қарастырады.

4 кесте – **Объектілер бойынша мұнайдың болжамды игеруге тартылған қорлары және мұнай беру коэффициенттері**

Көрсеткіштері		Объектілер			Жалпылама (орташа мән)
		I	II	III	
Бекітілген бастапқы геологиялық қорлар (БГҚ), мың т		24471	5677	1627	31775
Бекітілген бастапқы алынатын қорлар (БАҚ), мың т		12317	3323	1032	16672
Бекітілген мұнай беру коэффициенті (МБК), үлес бірлік		*0,503*	*0,585*	*0,634*	*0,525*
Жинақталған мұнай өндіру, мың т		11842	3152,7	765,7	15761,3
Ағымдағы мұнай беру коэффициенті, үлес бірлік		*0,484*	*0,555*	*0,471*	*0,496*
БАҚ-тан іріктеу, %		96,2	94,9	74,2	94,5
Қалдық алынатын қорлар (ҚАҚ), мың т		475	170,3	263	911
Игеруге тартылған қорлар, мың т		13446,1	3610,6	1202	18259
Әлеуетті мұнай беру коэффициенті, үлес бірлік		0,549	0,636	0,739	0,575
Әлеуетті қалдық алынатын қорлар, мың т		1604,1	457,9	433	2495
Жинақталған өндірудің Ln(ВНФ)-ке тәуелділігі Меншікті өндірудің жинақталған өндіруге тәуелділігі	қорлар	13350	3291	1495	18136
	МБК (мұнай бергіштік коффициенті)	*0,546*	*0,580*	*0,919*	*0,571*
Максимов М.И. әдістемесі Сазонов Б.Ф. әдістемесі	қорлар	12942	3910	977	17829
	МБК	*0,529*	*0,689*	*0,600*	*0,561*

4 кесте – **Объектілер бойынша мұнайдың болжамды игеруге тартылған қорлары және мұнай беру коэффициенттері**

Көрсеткіштері		Объектілер			Жалпылама (орташа мән)
		I	II	III	
Камбаров Г.С. әдістемесі Жинақталған өндірудің *Ln*(ВНФ)-ке тәуелділігі	қорлар	13640	3662	1249	18552
	МБК	*0,557*	*0,645*	*0,768*	*0,584*
Меншікті өндірудің жинақталған өндіруге тәуелділігі Максимов М.И. әдістемесі	қорлар	13796	3670	1248	18714
	МБК	*0,564*	*0,647*	*0,767*	*0,589*
Сазонов Б.Ф. әдістемесі	қорлар	13502,4	3574	1044	3555
	МБК	*0,552*	*0,630*	*0,641*	*0,570*

Қорытынды

Назаров-Сипачев, Максимов, Сазонов және Камбаров әдістемелерін кешенді қолдану кен орнының соңғы сатысындағы алынатын қорларды нақтылауға мүмкіндік берді. Математикалық модельдер суланудың шекті 98% мәніне жеткендегі мұнай беру коэффициентінің (МБК/КИН) әлеуетті өсімін дәл болжауға жарамды екенін көрсетті. Бұл гидродинамикалық модельдерді құру тиімсіз немесе шектеулі болатын ескі кенорындары үшін өндіруді экспресс-болжаудың жоғары тиімділігін негіздейді. Бұл модельдер алуан түрлі және әртүрлі кенорындары мен игеру кезеңдеріне бейімделуі мүмкін. Осы жағдайда басты назар ығыстыру сипаттамаларына (ЫС) аударылады, олар деректерді талдау мен қалдық қорлардың өзгеру заңдылықтарын анықтауда тиімді құрал болып табылады. Статистикалық модельдерді қолдану қалдық қорлардың ағымдағы жағдайын бағалауға және олардың болашақтағы өзгерісін болжауға мүмкіндік береді, бұл өндіруді тиімді басқарудың маңызды элементі болып табылады. Осы мақала аясында кен орнын игерудің қазіргі жағдайына кешенді аналитикалық зерттеу жүргізілді. Талдау нәтижелері Х кенорны I объект бойынша қорлардың игерілуінде артта қалушылық бар екенін көрсетті. Сондай-ақ игеруге тартылған қорларды анықтау барысында қолданыстағы игеру жүйесі жағдайында бекітілген алынатын қорларға қол жеткізу мүмкін еместігі анықталды. Осыған байланысты алынатын қорларға қол жеткізуді қамтамасыз етуге бағытталған нақты іс-шаралар ұсынылды. Техникалық-экономикалық бағалау нәтижелері ұсынылған шараларды енгізу арқылы кен орнын игерудің рентабельді кезеңін ұзартуға мүмкіндік туғанын көрсетті. Кенішке әсер ету әдістері мен технологияларының басым бөлігі бүгінде белгілі және әлемнің әртүрлі елдерінде кеңінен қолданылады. Алайда олардың тиімділігі нақты кен орнына сәйкес келетін оңтайлы тәсілдерді дұрыс таңдауға байланысты. Мұндай таңдауды жүзеге асыру үшін геологиялық-физикалық сипаттамалар туралы жеткілікті білімге ие болып, геологиялық-кәсіпшілік модельді дұрыс түсіну қажет. Тәжірибелік зерттеулер бойынша сумен мұнайды ығыстыру коэффициентінің орташа мәні 0,713 үлес бірлігін құрады. Дегенмен, микрокеуекті және төмен өткізгіштігі бар қабатшалар (пропластки) мен интервалдарда бұл коэффициент айтарлықтай төмендейді (ең төменгі мәні — 0,597). Бұл ағымдағы опандық (забойлық) қысымдар жағдайында аталған төмен өткізгішті интервалдар үшін дәстүрлі (стандартты) су айдау (заводнение) әдісінің тиімсіз екендігін айқындайды.

Алғыс. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен жүргізілді (ЖТН AP26195325 «Батыс Қазақстанның мұнай кен орындарының күрделі және гетерогенді қабаттарынан мұнай алу тиімділігін арттыру үшін технологиялық әдістерді зерттеу»).

ӘДЕБИЕТ

1. Juaifer H.J.A., Ayani M.B., Pursadek M. Process of paraffin melting inside a plate heat exchanger: experimental and numerical study // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2020. – Vol. 140. – P. 905–916.
2. Gao D., Chen Z. Lattice Boltzmann simulation of natural-convection dominated melting in a rectangular cavity filled with porous media // International Journal of Thermal Sciences. – 2011. – Vol. 50, No. 4. – P. 493–501.
3. Jany P., Bejan A. Scaling theory of melting with natural convection in an enclosure // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1988. – Vol. 31, No. 6. – P. 1221–1235.
4. Zhao T., Cheng P. A numerical solution of laminar forced convection in a heated pipe subjected to a reciprocating flow // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1995. – Vol. 38, No. 16. – P. 3011–3022. https://doi.org/10.1016/0017-9310(95)00017-4
5. Karode S.K. Laminar flow in channels with porous walls, revisited // Journal of Membrane Science. – 2001. – Vol. 191, No. 1. – P. 237–241. https://doi.org/10.1016/S0376-7388(01)00546-4
6. Мирзаджанзаде А.Х., Степанова Г.С. Математическая теория эксперимента в добыче нефти и газа. – М.: Недра, 1977. – 229 с.[Mirzadzhanzade A.H., Stepanova G.S. Matematicheskaya teoriya ehksperimenta v dobyche nefti i gaza. – M.: Nedra, 1977. – 229 s.].
7. Buijse M.A. Understanding wormholing mechanisms can improve acid treatments in carbonate formations // SPE European Formation Damage Conference. – The Hague, 1997. SPE-38166-MS. https://doi.org/10.2118/38166-MS
8. Wei W., Varavei A., Sepehrnoori K. Modeling and analysis on the effect of two-phase flow on wormhole propagation in carbonate acidizing // SPE Journal. – 2017. – Vol. 22, No. 6. – P. 2067–2083. https://doi.org/10.2118/186111-PA
9. Mussa A., Asinari P., Luo L.-S. Lattice Boltzmann simulations of 2D laminar flows past two tandem cylinders. – New York: Elsevier Science, 2008.
10. Ташбулатов Р.Р. Прогнозирование вязкостно-температурных характеристик течения смесей при совместной транспортировке различных нефтей… – Уфа: УГНТУ, 2019. – 135 с.[Tashbulatov R.R. Prognozirovanie vyazkostno-temperaturnyh harakteristik techeniya smesej pri sovmestnoj transportirovke razlichnyh neftej… – Ufa: UGNTU, 2019. – 135 s.].
11. Пинягин Д.С., Костарев Н.А., Труфанова Н.М. Анализ процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине при использовании призабойных нагревателей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2019. – № 30. – С. 211–226.[Pinyagin D.S., Kostarev N.A., Trufanova N.M. Analiz processov teplomassoperenosa v neftyanoj skvazhine pri ispol'zovanii prizabojnyh nagrevatelej // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Ehlektrotehnika, informacionnye tehnologii, sistemy upravleniya. – 2019. – № 30. – S. 211–226.].

12. Костарев Н.А., Труфанова Н.А. Управление температурным полем нефтяной скважины, оборудованной греющим кабелем, при периодическом режиме нагрева // Материалы X Международной интернет-конференции молодых ученых, аспирантов, студентов. – Пермь: ПНИПУ, 2019. – С. 161–167 [Kostarev N.A., Trufanova N.A. Upravlenie temperaturnym polem neftyanoj skvazhiny, oborudovannoj greyushchim kabelem, pri periodicheskom rezhime nagreva // Materialy X Mezhdunarodnoj internet-konferencii molodyh uchenyh, aspirantov, studentov. – Perm': PNIPU, 2019. – S. 161–167.].

13. Daneshvar Garmroodi M.R., Ahmadpour A. A numerical study on two-phase core-annular flows of waxy crude oil/water in inclined pipes // Chemical Engineering Research and Design. – 2020. – Vol. 159. – P. 362–376.

14 Никулин В.Ю. Методические вопросы расчета температуры продукции в добывающих скважинах // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2016. – № 1. – P. 148–151. [Nikulin V.Yu. Metodicheskie voprosy rascheta temperatury produkcii v dobyvayushchih skvazhinah // Problemy razrabotki mestorozhdenij uglevodorodnyh i rudnyh poleznyh iskopaemyh. – 2016. – № 1. – P. 148–151.