

МРНТИ 52.47.27

DOI: <https://doi.org/10.62724/202530603>

Ихсанов Қайрбек Айтжанұлы*¹,

техника ғылымдарының кандидаты,

"Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті" ЖЖКББМ, Қазақстан Республикасы, 090006, Орал қ., Н. Назарбаев даңғылы, 208,

ikhsanov_k@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4284-9048

КЕН ОРНЫНДА КӨМІРҚЫШҚЫЛ ГАЗЫН АЛУ ЖӘНЕ ҚАБАТҚА АЙДАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Аңдатпа. Зерттеудің мақсаты - мұнай өндіруді қарқындату және суперкритикалық сұйықтық жүйелерін қолдана отырып, әртүрлі су қанықтылығының қабаттарынан мұнайдың ығыстыру коэффициентін арттыру әдісін жасау.

Әлемдік сұйық отынға деген қажеттілік адамзатты ауыр және аса ауыр мұнайды белсенді игеруге, пайдалануға және өңдеуге, арнайы химиялық заттарды өндіруге және мұнай өнеркәсібінің қалдықтарын жоюға итермелейді. Алайда, мұндай шикізатты өндеудің қолданыстағы дәстүрлі технологиялары экономикалық тиімділікті толықтай қамтамасыз етпейді және көбінесе қоршаған ортаға айтарлықтай зиян келтіреді.

Осыған байланысты суперкритикалық сұйықтықтарға (СКС) негізделген технологиялар мұнай өндіру және өңдеу саласындағы перспективалы, тиімді және серпінді бағыт ретінде қарастырылады. Суперкритикалық сұйықтық СКС - бұл сұйықтық пен газ арасындағы шекара жойылып, зат бірегей физика-химиялық қасиеттерге ие болатын заттың ерекше күйі.

Олардың сипаттамаларына байланысты суперкритикалық сұйықтықтар әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады: полимерлерді өндіру және өңдеу кезінде, тамақ және фармацевтика өнеркәсібінде, медицинада, биодизель отынын алу кезінде, биоматериалдарды қайта өңдеу, материалдарды тазарту және сорбенттерді қалпына келтіру. Бұл әдісті қолдану жоғары тұтқырлы мұнай кен орындарынан мұнай алу коэффициентінің жоғарылауына әкеледі деп күтілуде.

Кілт сөздер: кен орны, мұнай, мұнай бергіштік, қабат, ұңғыма жабдықтары, айдау, зерттеу.

Ихсанов Қайрбек Айтжанович*¹,

кандидат технических наук,

МБОУ "Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет", Республика Казахстан, 090006, г. Уральск, проспект Н. Назарбаева, 208,

ikhsanov_k@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4284-9048

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ЗАКАЧКИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПЛАСТ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ

Аннотация. Цель исследования - интенсификация добычи нефти и разработка способа увеличения коэффициента вытеснения нефти из пластов различной водонасыщенности с использованием сверхкритических флюидных систем.

Острая мировая потребность в жидком топливе побуждает человечество к активному использованию и переработке тяжёлой и сверхтяжёлой нефти, производству

специальных химикатов и утилизации отходов нефтяной промышленности. Однако существующие традиционные технологии обработки таких видов сырья не обеспечивают экономической эффективности и часто сопровождаются существенным вредом для окружающей среды.

В этой связи технологии на основе сверхкритических флюидов (СКФ) рассматриваются как перспективное и прорывное направление в области добычи и переработки нефти. СКФ — это особое состояние вещества, при котором граница между жидкостью и газом исчезает, и вещество приобретает уникальные физико-химические свойства.

Благодаря своим характеристикам, сверхкритические флюиды находят широкое применение в различных отраслях: при производстве и обработке полимеров, в пищевой и фармацевтической промышленности, медицине, при получении биодизельного топлива, переработке биоматериалов, очистке материалов и регенерации сорбентов.

Ожидается, что применение этого метода приведет к увеличению коэффициента извлечения нефти из залежей сверхвязкой нефти.

Ключевые слова: месторождение, нефть, нефтеотдача, пласт, скважинное оборудование, закачка, исследование.

Ihsanov Kairbek Aitzhanovich*¹,

Candidate of Technical Sciences,

MBOU "West Kazakhstan University of Innovation and Technology", Republic of
Kazakhstan, 090006, Uralsk, N. Nazarbayev Avenue, 208,

ikhсанov_k@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4284-9048

TECHNOLOGY OF OBTAINING AND INJECTING CARBON DIOXIDE INTO THE RESERVOIR AT THE FIELD

Abstract. The purpose of the study is to intensify oil production and develop a method to increase the oil displacement coefficient from reservoirs of various water saturation using supercritical fluid systems.

The urgent global need for liquid fuels encourages humanity to actively use and process heavy and superheavy oil, produce special chemicals and recycle waste from the oil industry. However, the existing traditional technologies for processing such types of raw materials do not provide economic efficiency and are often accompanied by significant harm to the environment.

In this regard, technologies based on supercritical fluids (GFR) are considered as a promising and breakthrough direction in the field of oil production and refining. GFR is a special state of matter in which the boundary between liquid and gas disappears, and the substance acquires unique physico-chemical properties.

Due to their characteristics, supercritical fluids are widely used in various industries: in the production and processing of polymers, in the food and pharmaceutical industries, medicine, in the production of biodiesel, the processing of biomaterials, the purification of materials and the regeneration of sorbents.

It is expected that the application of this method will lead to an increase in the coefficient of oil recovery from extra-viscous oil deposits.

Key words: field, oil, oil recovery, reservoir, borehole equipment, injection, research.

Кіріспе. Энергетикалық тиімділік пен экономикалық негізділік тұрғысынан көмірқышқыл газы (CO_2) мұнай өндіруді арттыру үшін ең перспективалы зат болып табылады. Бұл улы емес, өрт қаупі жоқ және төмен және технологиялық қол жетімді критикалық параметрлерге ие: критикалық температура $31,3\text{ }^\circ\text{C}$, ал қысым $7,29\text{ МПа}$ [1].

CO_2 айдауға негізделген мұнай өндіруді арттыру әдісі мұнай өндірудің жоғары тиімділігіне, салыстырмалы түрде қолжетімді енгізу шығындарына, сондай-ақ парниктік газдар шығарындыларын азайтуға байланысты оның экологиялық әсеріне байланысты кеңінен қолданылды. Зертханалық зерттеулердің нәтижелері бойынша, суперкритикалық CO_2 пайдаланған кезде мұнай алу коэффициенті 80% дейін жетуі мүмкін [2]. Қазіргі уақытта мұнай өндіруді арттыру мақсатында CO_2 қолданудың бірнеше тәсілдері әзірленді, соның ішінде:

- көміртекті су (көмірқышқыл газымен қаныққан су) түрінде қабатқа CO_2 айдау;
- CO_2 үздіксіз айдау;
- айдау ұңғымаларына CO_2 циклдік айдау;
- CO_2 жиегін айдау, содан кейін суды айдау;
- CO_2 мен суды кезектесіп айдау арқылы мұнайды ығыстыру;
- химиялық реагенттер мен CO_2 аралас жиектерін айдау арқылы мұнайды ығыстыру;
- CO_2 газ-циклдік айдау.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Мұнай өндіруді арттыру мақсатында қабатқа CO_2 айдау технологиясы мен техникасы жер үсті және жерасты жабдықтарын қамтиды.

Жер үсті жүйелеріне мыналар жатады: тарату құбырлары, CO_2 жинау, кептіру және сығымдау жабдықтары (компрессорларды қоса алғанда) және айдау параметрлерін бақылау, өлшеу және реттеу жүйелері [3].

Жабдықтың жер асты бөлігі мыналарды қамтиды: қауіпсіздік және тарату құрылғылары сияқты ұңғымалық жабдықтар, қабатқа қауіпсіз және тиімді CO_2 жеткізуді қамтамасыз ететін құбыр құрылымдары.

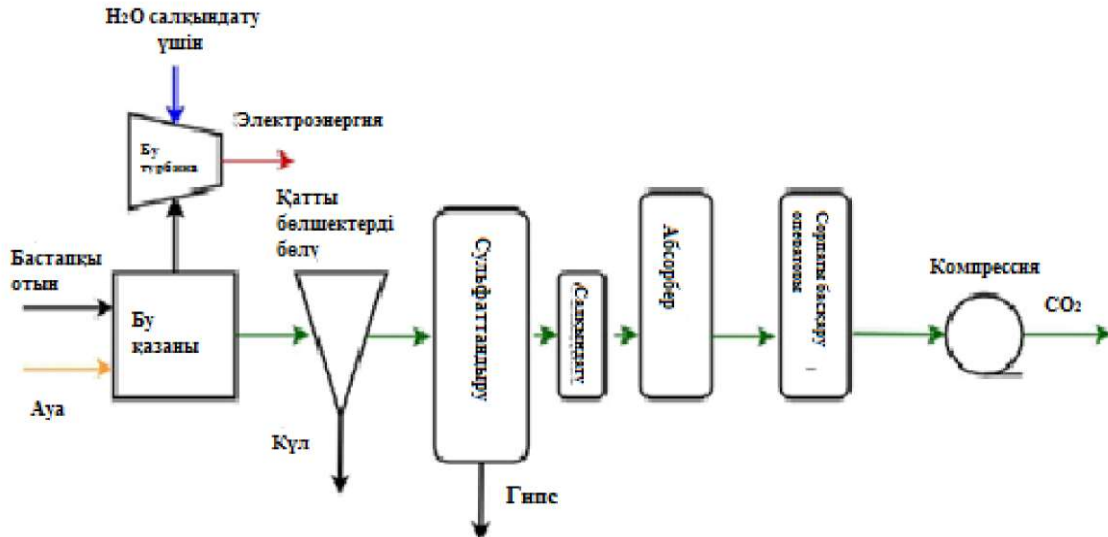
CO_2 қолдану арқылы мұнай өндіруді ұлғайту жобаларының рентабельділігіне әсер ететін негізгі факторлардың бірі оны сатып алу құны болып табылады. Сондықтан CO_2 ұстау, өндіру және тасымалдау технологияларын оңтайландыру, сондай-ақ тиісті жабдықтар мен процестерге шығындарды азайту маңызды міндеттер болып табылады.

Бірқатар жобаларда, әсіресе АҚШ-та, CO_2 құрғақ газ түріндегі құбырлар арқылы кен орындарына дейін тасымалданады. Әр түрлі агрегаттық күйлерде CO_2 жеткізу мүмкін болғанымен, қауіпсіздік пен технологиялық тұрақтылық үшін бір фазалы режимге артықшылық беріледі. Әдетте, газ пішіні таңдалады, өйткені ол алыс қашықтыққа тасымалдау кезінде аз энергияны қажет етеді. Бұл жағдайда құбырлардағы қысым әдетте $5\text{-}20\text{ МПа}$ аралығында сақталады.

Көмірқышқыл газының құнын арзандатудың бір әдісі, біздің ойымызша, мұнай, газ және суды бөлу процестерінен басқа, мұнай мен газды жинау және дайындау жүйесіне CO_2 -ні мұнай кен орнында ұстау және сақтау кезеңін (цехты) қосу болып табылады.

Мұнай мен газ кен орнындағы көмірқышқыл газын, мысалы, алау қондырғысының парниктік газдар шығарындыларын алу арқылы алуға болады. CO_2 негізгі үлесі метан болып табылатын газ қоспаларының (алау газының) тікелей жану өнімі ретінде алау қондырғыларында түзіледі [4].

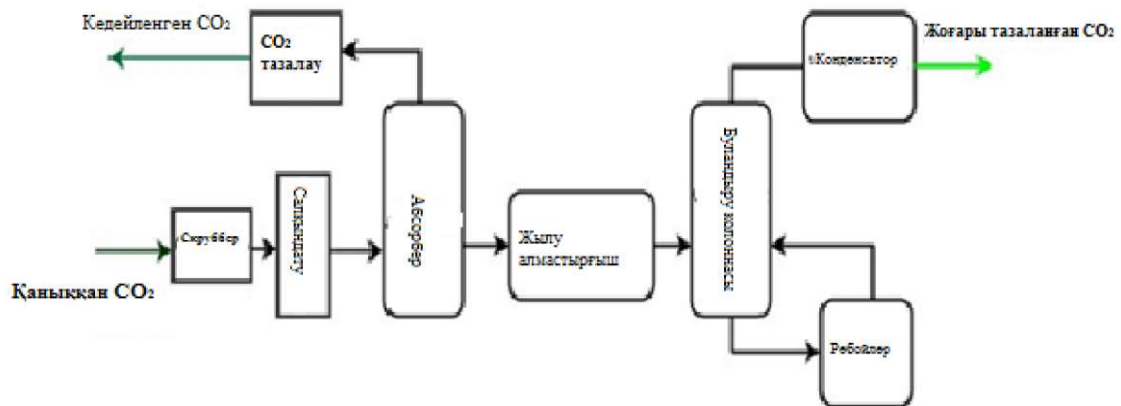
400 м^3 алау газын жағу кезінде атмосфераға 1 тонна CO_2 бөлінеді деп саналады. Мұнай мен газ өндіретін жерде CO_2 -ны тікелей ұстау және өндеу парниктік газдар шығарындылары нөлдік саланы құруға мүмкіндік береді [5]. Бұл сонымен қатар



2-сурет-жағудан кейінгі ұстау процесінің типтік технологиялық схемасы

Осы немесе басқа әдіспен технологияны қолдану негізінен көмірқышқыл газын алу дәрежесіне және оның техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне негізделген.

Мұнай өндіруді арттыру мақсатында айдау жобалары үшін көмірқышқыл газы жоғары тазалық дәрежесіне ие болуы керек (95%-дан жоғары). Сондықтан түтін газдарынан ұсталғаннан кейін алынған CO₂-ні қосымша тазарту қажет [7,8].



3-сурет-Көмірқышқыл газын ілеспе газ қоспаларынан тазарту технологиясы

3-суретте CO₂-ні ілеспе газ қоспаларынан тазартудың бір әдісі көрсетілген.

Ұңғымада алға жылжу кезінде CO₂ суперкритикалық күйге жетеді деп саналады. Алайда, бұл барлық жағдайда бола бермейді. Бұл, әсіресе, қабат қысымы шамамен 5 МПа болатын өндірілген кен орындарына, сондай-ақ тереңдігі шамамен 1500м болатын айдау ұңғымаларына қатысты, мұнда температура көмірқышқыл газының аса маңызды күйіне жету үшін жеткіліксіз болуы мүмкін.

Нәтижелер және оларды талқылау. Эксперименттік зерттеулердің шолуына сәйкес [4], мұнайдың шығуын арттыру үшін суперкритикалық CO_2 қолданған кезде оның ерігіштігі мен минималды араластыру қысымы негізгі параметрлер болып табылады. Сонымен қатар, мұнай өндірудің тиімділігіне коллектордың кеуектілігі және жыныстағы жарықтардың болуы айтарлықтай әсер етеді [9].

Эксперименттік зерттеулерге шолу мұнайдың шығуын арттыру үшін суперкритикалық CO_2 қолданған кезде оның ерігіштігі мен минималды араластыру қысымы негізгі факторлар болып табылатындығын көрсетті. Сонымен қатар, мұнай өндірудің тиімділігіне тау жынысының кеуектілік мөлшері мен жыныстағы жарықтардың болуы айтарлықтай әсер етеді.

Мұнай алу коэффициентінің ең жоғары мәндеріне (96%-ға дейін) суперкритикалық CO_2 көмегімен аралас ығыстыру арқылы қол жеткізіледі. Алайда, араласпайтын ығыстыру жағдайында да, әсіресе тұтқырлығы жоғары мұнай өндіруде, CO_2 компоненттерін еріту қабілетінің арқасында, сондай-ақ тығыз коллекторларды игеруде бұл әдіс тиімді болуы мүмкін.

Қолданыстағы әдістер мен технологияларды талдау негізінде тікелей ұңғымада суперкритикалық CO_2 генерациялау үшін жабдықты жобалаудың негізгі принципі тұжырымдалды. Мақсаты мұнай-газ саласының ерекше талаптарын ескере отырып, мұнай беруді арттыру болып табылады.

Қабаттың термобарикалық жағдайларына байланысты CO_2 газ тәрізді немесе сұйық фазада болуы мүмкін [8]. Оны суперкритикалық күйге келтіру үшін ұңғыма аймағында қыздыру элементтері мен басқару клапандары бар арнайы ұңғыма жабдықтарын орнату ұсынылады. Бұл шешім ұңғымадағы CO_2 суперкритикалық параметрлерін тұрақты түрде сақтауға мүмкіндік береді.

Ұңғыма жабдықтарының жұмыс критерийі тұжырымдалған. Жабдықтың ішіндегі температура ($T_{уст}$) көмірқышқыл газының критикалық температурасынан ($T_{кр}$) жоғары болуы керек, бірақ сонымен бірге техникалық-экономикалық негіздеме үшін-қабат температурасынан ($T_{пл}$) жоғары болуы керек:

$$T_{пл} < T_{кр} < T_{уст} \quad (1)$$

Аралас орын ауыстыру үшін келесі шарт орындалуы керек:

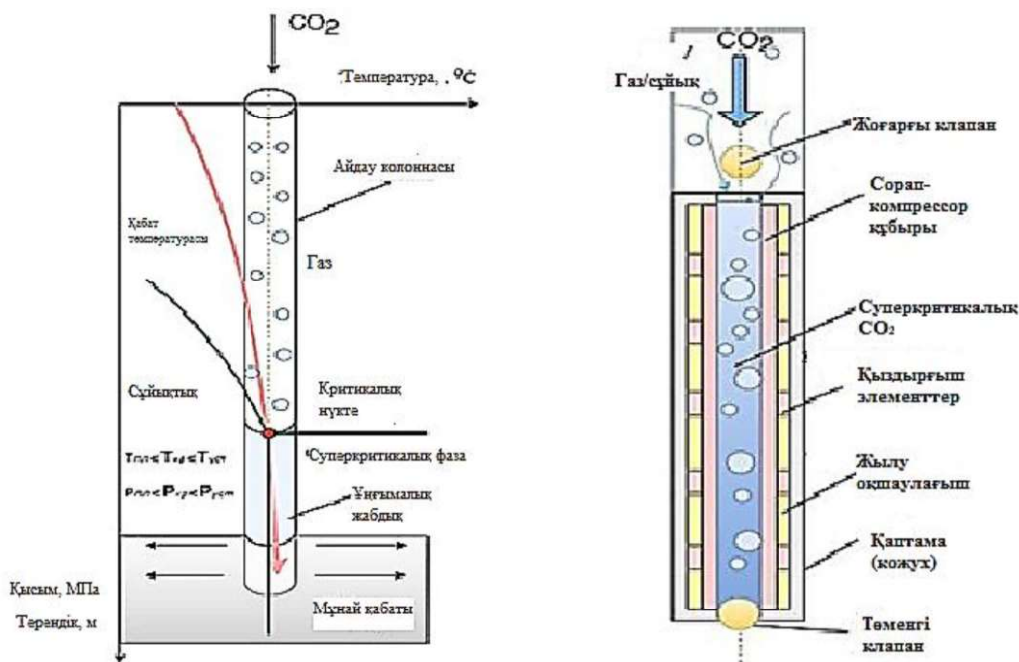
$$P_{пл} < P_{кр} < P_{мдс} < P_{уст} < P_{раз.пл} \quad (2)$$

мұндағы $P_{пл}$ – қабаттың қысымы, МПа; $P_{кр}$ – шекті қысым, МПа; $P_{мдс}$ - қоспаның минималды қысымы, МПа; $P_{уст}$ – ұңғыма жабдығының ішіндегі қысым, МПа; $P_{раз.пл}$ – қабатты жару қысымы, МПа.

Араласпайтын репрессия үшін:

$$P_{пл} < P_{кр} < P_{уст} < P_{мдс} < P_{раз.пл} \quad (3)$$

Ұңғыма жабдықтарының ішіндегі қысым минималды қоспаның қысымына байланысты болады. Бұл жағдайда аралас немесе араласпайтын ығыстыру жүзеге асырылады [10]. Қыздыру элементтерін қолдану арқылы ұңғыманың ішіндегі CO_2 параметрлерін бақылауға болады.



4-сурет-Ұңғыманың түп маңы аймағында мұнай бергіштікті арттыру мақсатында суперкритикалық көмірқышқыл газын алуға арналған ұңғыма жабдығы

- ұңғыма жабдықтарының жұмыс принципі;
- ұңғыма жабдықтарының құрылысы схемасы

Қорытынды. Көмірқышқыл газын айдауға арналған жер үсті инфрақұрылымына әдетте CO₂ ұстау және тазарту жүйесі, оны сақтауға арналған резервуарлар (жер үсті және жер асты) және сорғы немесе компрессорлық жабдық кіреді. Пайдалану аймақтарының климаттық ерекшеліктерін ескеру маңызды: атап айтқанда, көптеген аумақтарға тән қыс мезгіліндегі төмен температура пайдалану шығындарын оңтайландыру және азайту мақсатында CO₂ сақтау және тасымалдау жүйелерін жобалау кезінде есептеулерге енгізілуі керек.

Жер асты жабдықтарына келетін болсақ, ол құрылымдық жағынан стандартты мұнай және газ ұңғымаларына ұқсас. Алайда, негізгі айырмашылық - CO₂ жоғары қарай, қабаттан ағып кетуіне жол бермеу үшін құбыраралық кеңістікті қатаң тығыздау қажеттілігі.

Бұл технологияны қолдану әсіресе алаңдық сумен ығыстыру жүйесі сияқты белсенді игеру жүйесі бар кен орындарында тиімді [11]. Төменгі ұңғыма аймағындағы суперкритикалық CO₂ күйін тиімді басқару үшін ұңғыма жабдықтарының арнайы түрлері ұсынылған, сонымен қатар қабаттың термобариялық жағдайларына байланысты оның өнімділігі мен тиімділігін анықтайтын критерийлер негізделген.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Zhou, H., Experimental Study on CO₂ Miscible Flooding in Ultra-low Permeability Reservoirs[D]. Northeast Petroleum University, 2008.
- Курбанбаев, М.И. Промысловые испытания многофункциональной водорастворимой полимерсодержащей композиции ПАВ (ПМК) на месторождениях

«Узень» и «Карамандыбас» [Текст] // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 2011. № 12. С. 56–60.

3. Ли, З. Фазовое поведение легкой нефти при растворении CO₂ в пластовых условиях [Текст] // Журнал Нефтяного университета Китая. 2004. Т. 28, № 3. С. 43–48.

4. Трухина, О.С., Синцов, И.А. Опыт применения углекислого газа для повышения нефтеотдачи пластов. [Текст] / Успехи современного естествознания, -2016. 3, 205-209.

5. Тео, У.Л., Лим, Дж. С., Хашим, Х. и др. (2016). Обзор процессов улавливания и хранения углерода перед сжиганием и ионной жидкости. [Текст] / Прикладная энергия, 183, 1633-1663.

6. Хольм, Л., Йошендал, Р. Mechanisms of Oil Displacement By Carbon Dioxide [Текст] // Journal of Petroleum Technology. 2004. Т. 26. С. 1427–1438. SPE-4736-PA.

7. Филенко, Д.Г., Дадасhev, М.Н., Джафаров, Р.Ф., и др. Экспериментальное исследование зависимости коэффициента извлечения нефти от проницаемости пласта в широком диапазоне параметров состояния. Мониторинг. [Текст] //Наука и технологии, 4(37), 2018. 57-61.

8. Азиз А., Сеттари Д. Математическое моделирование пластовых систем. [Текст] /- М.Недра, 2014, 407 с.

9. Повышение нефтеотдачи пластов с применением системной технологии [Текст] / Х.Х. Гумерский, А.Т. Горбунов, С.А. Жданов, А.М. Петраков // Нефтяное хозяйство. - 2000. - № 12.

10. Мукумбеков М.Ж., Накибаева М.Т. Моделирование процесса закачки углекислого газа в нефтяной пласт [Текст] // Вестник КазНУ, сер. мат., мех., инф. 2012, №3(74). 59-68.

11. Ихсанов К.А. Өзен кен орынын игеру тиімділігін талдау [Текст] / К.А. Ихсанов, Г.Е. Калешева, Т.Н. Утеева // Нефть и газ, №2(140), 2024. – С.151-159. ISSN 1562-2932.

REFERENCES

1. Zhou, H., Experimental Study on CO₂ Miscible Flooding in Ultra-low Permeability Reservoirs[D]. Northeast Petroleum University, 2008.

2. Kurbanbaev, M.I. Promyslovye ispytaniya mnogofunkcional'noj vodorastvorimoy polimersoderzhashchej kompozicii PAV (PMK) na mestorozhdeniyah «Uzen'» i «Karamandybas» [Field tests of a multifunctional water-soluble polymer-containing surfactant composition at the Uzen and Karamandybas fields] // Geologiya, geofizika i razrabotka neftnyanyh mestorozhdenij. (2011). № 12. S. 56–60. – (In Rus)

3. Li, Z. Fazovoe povedenie legkoj nefti pri rastvorenii CO₂ v plastovyh usloviyah [Phase behavior of light oil upon dissolution of CO₂ in reservoir conditions] // Zhurnal Neftyanogo universiteta Kitaya. (2004). Т. 28, № 3. S. 43–48. – (In Rus)

4. Truhina, O.S., Sincov, I.A. Opyt primeneniya uglekislogo gaza dlya povysheniya nefteotdachi plastov. [The experience of using carbon dioxide to enhance oil recovery.] /Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya, - (2016). 3, S. 205-209. – (In Rus)

5. Teo, U.L., Lim, Dzh. S., Hashim, H. i dr. (2016). Obzor processov ulavlivaniya i hraneniya ugleroda pered szhiganiem i ionnoj zhidkosti. [An overview of the processes of carbon capture and storage before combustion and ionic liquid.] / Prikladnaya energiya, 183, 1633-1663. – (In Rus)

6. Hol'm, L., Joshendal, R. Mechanisms of Oil Displacement By Carbon Dioxide [Tekst] // Journal of Petroleum Technology. 2004. Т. 26. S. 1427–1438. SPE-4736-PA.

7. Filenko, D.G., Dadashev, M.N., Dzhafarov, R.F., i dr. Eksperimental'noe issledovanie zavisimosti koefficienta izvlecheniya nefti ot pronicaemosti plasta v shirokom diapazone

parametrov sostoyaniya. Monitoring. [Experimental study of the dependence of the oil recovery coefficient on reservoir permeability in a wide range of state parameters. Monitoring.] //Nauka i tekhnologii, 4(37), (2018). S. 57-61. – (In Rus)

8. Aziz A., Settari D. Matematicheskoe modelirovanie plastovyh sistem. [Mathematical modeling of reservoir systems.] / M. Nedra, (2014), S. 407. – (In Rus)

9. Povyshenie nefteodachi plastov s primeneniem sistemnoj tekhnologii [Enhanced oil recovery using system technology] / H.H. Gumerskiy, A.T. Gorbunov, S.A. Zhdanov, A.M. Petrakov // Neftyanoe hozyajstvo. – (2000). - № 12. – (In Rus)

10. Mukimbekov M.ZH., Nakibaeva M.T. Modelirovanie processa zakachki uglekislogo gaza v neftyanoy plast [Modeling of the process of carbon dioxide injection into an oil reservoir] // Vestnik KazNU, ser. mat., mekh., inf. (2012). №3(74). S. 59-68. – (In Rus)

11. Ihsanov K.A. Өзен кен орынyn igerу тиmdiligin taldaу [Analysis of the efficiency of Uzen field development] / K.A. Ihsanov, G.E. Kalesheva, T.N. Uteeva // Neft' i gaz, №2(140), (2024). – S.151-159. ISSN 1562-2932. – (In Kaz)