

УДК 622.276

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225466

АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ РОЗРОБКИ НАФТОВИХ РОДОВИЩ НА ПІЗНІЙ СТАДІЇ

Дорошенко В. М., Тітлов О. С.

Об'єктом дослідження є нафтові родовища на пізній стадії їх розробки. Найбільш проблемними питаннями розробки нафтових родовищ є утворення та вилучення залишкових запасів нафти. Особливо гостро ця проблема постає на пізній або завершальній стадії, коли зменшується продуктивність свердловин по нафті та катастрофічно зростає обводненість продукції. Найбільш прийнятною системою розробки в таких умовах є застосування методів підвищення нафтовилучення і, насамперед, шляхом нагнітання води в пласт. При цьому проблемним питанням залишається відсутність надійної інформації про шляхи руху води від нагнітальних до видобувних свердловин та недосконалість методів вирівнювання профілю приймальності в нагнітальних та профілю припливу в видобувних свердловинах.

В ході дослідження використовувалися статистично-аналітичні методи аналізу стану розробки нафтових родовищ на пізній стадії та промислової апробації методів трасування руху води та обґрунтування реагентної бази для вирівнювання шляхів руху води та припливу нафти.

Досліджено та напрацьовано набір реагентів та технологічних прийомів забезпечення регулювання процесу заводнення нафтових родовищ на пізній стадії їх розробки. Доведено, що перспективним напрямком є нагнітання разом з водою 0,1 % водного розчину полімеру «Полікар». Цей розчин першочергово проникає у високопроникні, промиті водою, проміжки пласта, сприяючи вирівнюванню профілю приймальності, зменшенню обводненості оточуючих видобувних свердловин та збільшенню їх продуктивності по нафті.

Завдяки виконаним дослідженням розроблено напрямки та засоби удосконалення систем розробки родовищ на пізній стадії шляхом організації адресного (вибіркового) заводнення нафтових покладів на підставі якісного та всебічного контролю руху фільтраційних потоків в пласті. Це в кінцевому результаті сприятиме досягненню та підтриманню проектного значення пластового тиску, запобіганню зниження темпу падіння видобутку нафти, отриманню проектного значення коефіцієнта охоплення пласта заводненням та вилученню залишкових запасів нафти.

Ключові слова: *структура залишкових запасів нафти, заводнення нафтових покладів, індикаторні дослідження, вирівнювання профілю нагнітання.*

1. Вступ

Нафтова промисловість більшості нафтовидобувних країн світу пройшла період максимального обсягу видобутку, за яким неминуче настає спад. Максимальний рівень видобутку нафти (13,3 млн т, 1972 р.) забезпечувався

введенням у розробку низки крупних родовищ. Незмінною залишилася їх роль і тепер, коли близько 20 % родовищ забезпечують 80 % видобутку нафти, а решта 80 % – лише 20 % видобутку. Спроби зменшити темпи падіння видобутку шляхом збільшення обсягів експлуатаційного буріння, а також виявлення раніше пропущених інтервалів та прошарків, мали епізодичний характер і за різних причин не змогли на більш-менш значний період змінити загальний тренд падіння видобутку нафти.

Головною причиною зменшення видобутку нафти в світі є закономірний перехід більшості основних за видобутком та запасами родовищ у пізню стадію розробки, що характеризується значним їх виснаженням. З іншого боку, час відкриття великих родовищ, за рахунок яких забезпечувався приріст запасів, минув, а геолого-розвідувальними роботами відкриваються, в основному, дуже дрібні, дрібні та середні родовища на глибинах 4,5–6 тис. м. Тому прирости розвіданих запасів не компенсують навіть поточного видобутку нафти.

Типова виснаженість родовищ супроводжується зростанням обводненості продукції до 80–85 % і більше [1]. Так, наприклад, із середнім значенням обводненості, більшим за 90 %, розробляються 14 родовищ головної нафтовидобувної компанії України ПАТ «Укрнафта». Середнє значення коефіцієнта вилучення досягло біля 30 % за проектного – 36,5 %, тоді як світовий рівень для відповідних режимів розробки становить 40–50 %. Тому головним напрямом збільшення рівнів видобутку вуглеводнів та досягнення високих значень кінцевих коефіцієнтів їх вилучення є масштабне вдосконалення існуючих систем розробки родовищ нафти та газу з використанням сучасних наукоємних технологій [2].

Основні нафтові родовища розробляють методом заводнення [3], який на сьогодні є найбільш доступним та ефективним. Разом із тим із причини складної геологічної будови, великої фільтраційної неоднорідності, розчленованості та переривчастості колекторів, переходу родовищ на завершальну стадію розробки, ефективність заводнення на сучасному етапі стає невисокою.

Прямі потокометричні дослідження показують, що родовище (поклад) «розрізається» нагнітальною водою на окремі блоки, ділянки, що спричиняє утворенню не охоплених витискуванням слабопроникних прошарків та недренованих зон. За результатами численних досліджень встановлено, що близько двох третин залишкової нафти формується через неповне охоплення пласта розробкою, а її решту утримують у поровому просторі капілярні та поверхневі сили.

Отже, недостатня ефективність вилучення нафти на пізній стадії розробки родовищ в більшості випадків залежна від недосконалості систем заводнення. В таких умовах найкращим способом прискорення вилучення залишкових запасів нафти є упорядковане впровадження методів збільшення нафтовилучення, заснованих на виявленні та тампонуванні промитих зон (каналів) пласта. Одним із напрямків реалізації поставленої задачі є використання індикаторних досліджень шляхів руху води в пласті та, при необхідності, тампонування найбільш проникних.

Актуальність роботи зумовлені необхідністю узагальнення існуючого

стану розробки родовищ на пізній стадії та надання прийнятних пропозицій щодо його покращання та забезпечення якнайповнішого вилучення залишкових запасів нафти.

Таким чином, *об'єктом дослідження* є нафтові родовища на пізній стадії їх розробки. *Мета роботи* полягає в удосконаленні систем розробки нафтових родовищ на пізній стадії в частині забезпечення якнайповнішого вилучення залишкових запасів нафти.

2. Методика проведення дослідження

При дослідженні було використано наукові методи:

- статистично-аналітичного аналізу сучасного стану нафтовидобувних технологій та способів підвищення ефективності в частині виходу залишкової нафти;
- промислової апробації методу трасування руху води та обґрунтування реагентної бази для вирівнювання шляхів руху води та припливу нафти.

3. Результати аналізу та обговорення

Пріоритетним напрямком забезпечення стабільності будь-якої країни світу, особливо на сучасному етапі, є нафтогазовидобувний сектор, який формує енергетичний ландшафт країни, економічну спрямованість її державної політики, зменшує залежність від імпорتنих енергоносіїв. В цьому аспекті сировинна база вуглеводнів та ефективність її реалізації є і залишиться найвагомим потенціалом технічного прогресу та економічної забезпеченості.

Наприклад, нафтова промисловість України пройшла пік максимального видобутку нафти у 1972 році, за яким закономірно наступив монотонний його спад (рис. 1).

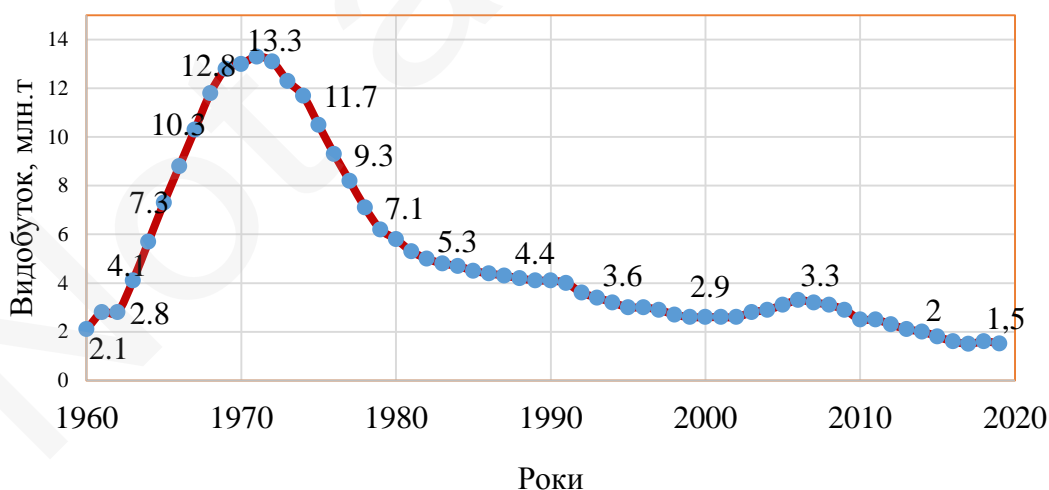


Рис. 1. Профіль видобутку нафти на прикладі України

Що стосується України, то її екстремальний видобуток у 1970–1973 роках забезпечувався розробкою великих за запасами родовищ, таких як Долинське, Качанівське, Леляківське, Глинсько-Розбишівське, Гнідинцівське [4].

Для нафтової промисловості всіх країн світу, в тому числі і для України,

характерне неухильне виснаження ресурсів нафти, яке відбувається при відсутності економічно та технологічно прийнятних альтернативних джерел енергії [1].

Перспектива відкриття значних за запасами нових нафтових родовищ, в умовах високого ступеня розвіданості надр, є вкрай незначною. Останнім часом виявляються лише невеликі за запасами родовища на глибинах, більш як 5000 м. Разом з тим, залишкові запаси нафти на родовищах, що перебувають в розробці, ще є досить значними. Епізодичне нарощування видобутку у 2003–2006 роках (рис. 1) відбулося за рахунок детальної переінпретації геофізичних досліджень, виявлення та залучення в розробку раніше пропущених нафтонасичених прошарків.

Профіль видобутку (рис. 1) є показовим для будь-якого нафтового родовища та характеризується наявністю чотирьох стадій [5]:

I (196–1968 рр.) – інтенсивне освоєння родовища та наростаючий рівень видобутку (системне розбурювання родовища, введення в експлуатацію першочергового проектного фонду свердловин);

II (1969–1975 рр.) – максимальний рівень видобутку (досягнення найбільшого річного видобутку за рахунок першочергового введення в експлуатацію високодебітних свердловин, впровадження комплексу геолого-технічних заходів з регулювання процесу розробки);

III (1976–1985 рр.) – спадаючий видобуток (помітне зниження рівня річного видобутку та темпу відбору нафти, наростаюче обводнення продукції свердловин, поступове зменшення діючого фонду та поступове переведення свердловин на механізовані способи видобутку, продовження розбурювання родовища);

IV (1986–до теперішнього часу) – пізня або завершальна стадія розробки (суттєве зниження обсягів видобутку при низьких темпах відбору та високому обводненні продукції, зменшення діючого експлуатаційного фонду, системне проведення ремонтно-відновлюваних, інтенсифікуючих та водоізолюючих робіт).

Тривалість четвертої стадії визначається межею економічної рентабельності, власне мінімальним дебітом, при якому експлуатація свердловин стає нерентабельною. Протягом перших трьох стадій з родовища вилучається 80–90 % видобувних (активних) запасів нафти.

Спад видобутку нафти в Україні можна було б частково компенсувати збільшенням кількості свердловин, як це робиться, наприклад, в США. Однак обсяги експлуатаційного буріння нафти в Україні за об'єктивних та суб'єктивних причин на даний час практично знівелювалися.

Отже, більшість родовищ України перебуває в пізньому стані розробки, для якої притаманно акумулювання в пласті так званих залишкових (невироблених) запасів нафти. Формування цих запасів обумовлено макронеоднорідністю колекторів та низькою або «нульовою» швидкістю фільтрації в малопроникних зонах, прошарках та лінзах на фоні незворотного зниження пластової енергії, власне пластового тиску [6].



Рис. 2. Розподіл залишкової нафти в поровому просторі

Залишкова нафта (рис. 2), внаслідок високої макронеоднорідності пластів і наявності застійних зон являє собою основний резерв для збільшення коефіцієнту вилучення та нарощування видобутку нафти.

Підвищити нафтовилучення пласта за рахунок цієї частки запасів нафти можна шляхом вдосконалення існуючих систем і технологій розробки родовищ. В першу чергу, із застосуванням різноманітних методів адресної дії на продуктивні пласти з метою активізації процесу вилучення вуглеводнів та зменшення величини залишкових запасів [7].

У світовій практиці напрацьовано та апробовано значний арсенал різноманітних методів дії на продуктивні пласти: гідродинамічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, теплові, газові, водогазові, мікробіологічні тощо [8]. Однак, найбільш поширеним залишається гідродинамічний метод дії шляхом заводнення, який є базовою технологією розробки нафтових покладів і ефективним способом компенсації енергії пласта та витискування нафти з колектора. Гідродинамічний метод дії шляхом водогазової репресії є перспективним і для вилучення з пласта ретроградного конденсату [9].

Системи розробки з заводненням забезпечують найбільший ефект при розробці покладів з відносно низькою в'язкістю нафти, високою пористістю та проникністю колектора [10].

Заводнення є основним методом розробки нафтових родовищ України, широке застосування якого дозволило протягом тривалого часу утримувати високі рівні річного видобутку нафти. Наприклад, біля 30 % нафтових родовищ України розробляються із застосуванням заводнення [10].

Архітектура процесу заводнення будується на досягненні проектних значень коефіцієнтів дренажу покладу, охоплення його заводненням та витискування нафти водою. Коефіцієнт дренажу визначає частку

нафтонасиченого об'єму, у якому має місце рух рідин, коефіцієнт охоплення визначає частку об'єму дренованого нафтонасиченого пласта, а коефіцієнт витискування – ступінь заміщення нафти водою в пористому середовищі. Ці коефіцієнти визначають успішність заводнення, а їх добуток – коефіцієнт нафтовилучення. Втрата контролю та керування цими показниками може спричинити передчасний прорив води до видобувних свердловин та погіршення ефективності розробки покладу в цілому (рис. 3).

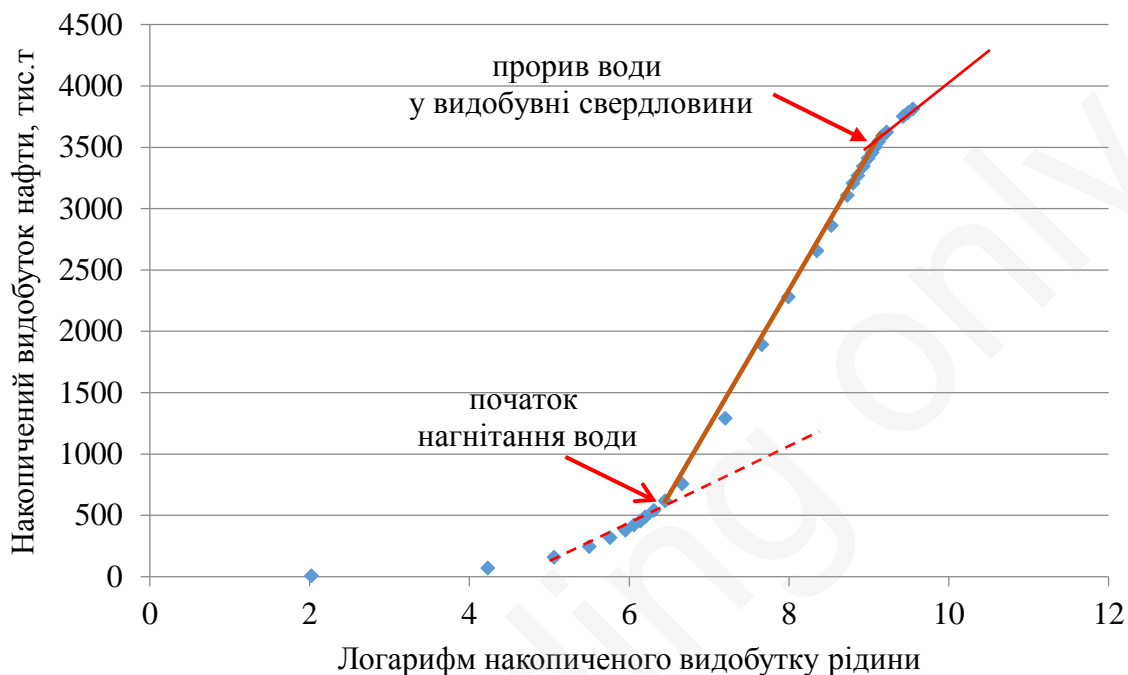


Рис. 3. Характеристика витискування нафти при заводненні горизонту В-22 Бугруватівського родовища

Метод заводнення реалізується як звичайне стаціонарне нагнітання води в пласт, так і нестаціонарне (циклічне, зміна тиску нагнітання, зміна обсягів нагнітання, зміна цільового призначення видобувних і нагнітальних свердловин). Але у будь-якому випадку процес потребує ретельного геолого-промислового контролю за характером поступлення води в пласт, її руху та виходу на поверхню через видобувні свердловини [10].

Одним із напрямків такого контролю є індикація шляхів та напрямків руху води від нагнітальних до видобувних свердловин з використанням маркеруючих речовин – трасерів. Цей метод дає можливість:

- визначити істинну швидкість і напрямок руху води в пласту;
- ступінь гідродинамічного зв'язку між свердловинами та прошарками;
- ефективність процесу виштовхування нафти водою та вплив на нього режимів роботи окремих свердловин;
- оцінити ступінь анізотропії колекторів.

Отримати таку інформацію, не порушуючи встановленого режиму роботи нафтовидобувної компанії, можна тільки за допомогою трасерів, які достовірно ідентифікуються в умовах їх незначній кількості в воді, що нагнітається в пласт. Процедура трасування фільтраційних потоків полягає в подачі розчину

індикатора в потік води та системному відборі проб рідини з оточуючих видобувних свердловин для визначення в їх продукції наявності та концентрації індикатора. На основі трасерних досліджень корегуються режими нагнітання та відбору рідини у відповідних свердловинах.

У якості індикаторів використовують хімічні елементи, солі хімічних сполук, барвники (флюоресціл, метилен, ураніл), стійкі радикали, ізотопи та ін. Для диференціації впливу декількох нагнітальних свердловин на одні і ті ж видобувні, застосовують полііндикаторні методи шляхом нагнітання в декілька сусідніх свердловин різних індикаторів.

Наприклад, останніми роками на Українських родовищах [11] знайшли застосування азотисті з'єднання – нітрати (аміачна селітра NH_4NO_3) та карбаміду (сечовина H_2NCONH_2 та тіосечовина H_2NSCHN_2), рис. 4.

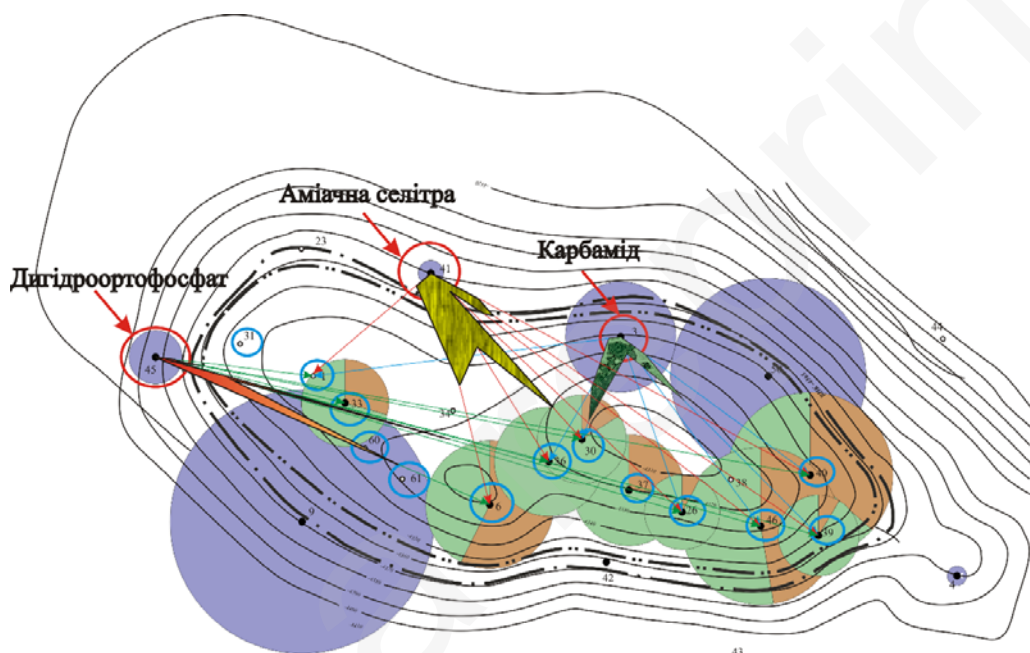


Рис. 4. Фрагмент індикації горизонту В-19 Перекоповського нафтового родовища через нагнітальні свердловини №№ 3, 41, 45

Позитивними властивостями таких індикаторів є достатньо висока хімічна стійкість у пластових умовах, простота ідентифікації, доступність та низька вартість. Лише нітрати мають недолік, обумовлений їх здатністю взаємодіяти із солями кальцію, що обмежує їх застосування в карбонатних колекторах.

Використання індикаторів на Бугруватівському, Анастасівському, Перекопівському, Козіївському, Чижівському, Богданівському, Малодівицькому, Скороходівському, Долинському, Північно-Долинському та Спаському родовищах дозволить:

- визначити перспективні ділянки для буріння пріоритетних свердловин;
- оптимізувати роботу нагнітального фонду щодо усунення локальних проривів води;
- визначити частково блоковані ділянки привибійної зони пласта;
- упізнавати переважаючі напрямки фільтрації;
- будувати стратегію вирівнювання профілю приймальності в

нагнітальних свердловинах і припливу в видобувних свердловинах.

Перспективним напрямком є нагнітання разом з водою 0,1 % водного розчину полімеру «Полікар», який, першочергово проникає у високопроникні, промиті водою, проміжки пласта, сприяючи вирівнюванню профілю приймальності, зменшенню обводненості оточуючих видобувних свердловин та збільшенню їх продуктивності по нафті. Фізико-хімічні властивості полімеру полягають у загущенні, або збільшенні в'язкості води і, тим самим, зменшенні співвідношень в'язкості нафти та витискаючої рідини та впливу на фазові проникності пластової системи [12].

У якості потоковідхилюючих матеріалів використовують також розгазовану густу нафту, гідрофільні нафтові емульсії, нафтомазутні суміші, 8–10 % розчин гіпану в суміші з хлористим кальцієм, 0,5 % розчин каустичної соди, гіпаноформалінові суміші [13]. Для колекторів з природними або штучно створеними тріщинами в пласті використовуються дисперсні або гранульовані матеріали [14].

Терапія дії таких реагентів на пласт полягає у тому, що вони першочергово заповнюють найбільш проникні проміжки (інтервали) пласта, знижуючи їх проникність, а відтак, і приймальність, викликаючи перерозподіл фільтраційних потоків або вирівнювання профілю поступлення води в пласт.

Прийнятним методом удосконалення системи розробки нафтових родовищ на пізній стадії є зміна напрямків фільтраційних потоків, який реалізується шляхом системної зупинки нагнітальних свердловин, або зміни режиму їх роботи (тиск нагнітання, витрата рідини).

4. Висновки

Таким чином, у результаті аналізу напрямків удосконалення систем розробки нафтових родовищ було доведено, що реалізація адресного заводнення нафтових покладів на пізній стадії розробки родовищ в комплексі з якісним і всебічним контролем спрямована на:

- досягнення та підтримання проєктного значення пластового тиску;
- запобігання зниженню темпу падіння видобутку нафти;
- підвищення ефективності геолого-технічних заходів у видобувних свердловинах;
- забезпечення проєктного значення коефіцієнта охоплення пласта заводненням;
- прискорення темпів вилучення залишкових запасів нафти.

Наприклад, економічно та технологічно виправдано залучення в розробку на родовищах України 100–150 млн. т нафти від поточних залишкових запасів, що рівнозначно досягненню кінцевого коефіцієнту нафтовилучення 46–51 %, відповідаючому рівню сучасних світових систем розробки [14].

Для забезпечення реалізації цих сценаріїв необхідно вирішити ряд першочергових технологічних та організаційних задач. В складі технологічних задач, насамперед слід виділити:

- розвертання широких промислових і наукових досліджень для локалізації залишкової нафти;
- впровадження сучасних методів нафтовилучення;
- оптимізацію сітки видобувних свердловин;
- буріння свердловин складної архітектури, у тому числі багатовибійних, з

горизонтальними стовбурами;

– якісне первинне та вторинне розкриття продуктивних пластів;
– застосування потоковідхилюючих технологій, спрямованих методів інтенсифікації видобутку та обмеження припливу пластових вод тощо.

Література

1. Veil, J. A., Puder, M. G., Elcock, D., Redweik, R. J., Jr. (2004). *A white paper describing produced water from production of crude oil, natural gas, and coal bed methane*. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). doi: <http://doi.org/10.2172/821666>
2. Sandrea, I., Sandrea, R. (2007). Global Oil Reserves – Recovery Factors Leave Vast Target for EOR Technologies. Part 1-2. *Oil & Gas Journal*. Available at: <https://www.ogj.com/drilling-production/production-operations/ior-eor/article/17228455/global-oil-reserves2-recovery-factors-leave-eor-plenty-of-room-for-growth>
3. Al-Obaidi, S. H., Khalaf, F. H. (2019). Development Of Traditional Water Flooding To Increase Oil Recovery. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8 (1), 177–181. doi: <http://doi.org/10.31224/osf.io/cd537>
4. Ковалко, М. П. (Ред.) (1997). *Нафта і газ України*. Київ: Наукова думка, 383.
5. Бойко, В. С., Кондрат, Р. М., Яремійчук, Р. С. (Ред.) (1996). *Довідник з нафтогазової справи*. Київ-Львів, 620.
6. Купер, І. М., Угриновський, А. В. (2018). *Фізика нафтового і газового пласта*. Івано-Франківськ, 448.
7. Сургучев, М. Л., Горбунов, А. Т., Забродин, Д. П., Забродин, Д. П., Малютина, Г. С. (1991). *Методы извлечения остаточной нефти*. Москва: Недра, 347.
8. Юрків, М. І. (2008). *Фізико-хімічні основи нафтовилучення*. Львів, 374.
9. Liu, Z., Wang, Q., Sun, Y. (2014) Study and application of new technological limit for polymer flooding in field application. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 21 (2), 22–24.
10. Дорошенко, В. М., Тітлов, О. С. (2019). Проблеми видобутку ретроградного конденсату. *Збірник тез доповідей 79 наукової конференції викладачів Одеської національної академії харчових технологій*. Одеса, 292.
11. Газизов, А. А. (2002). *Увеличение нефтеотдачи неоднородных пластов на поздней стадии разработки*. Москва: ООО «Недра-Бизнесцентр», 639.
12. Височанський, З. М., Патра, В. Д., Гушул, В. В., Шпак, П. І. (2002). Дослідження продуктивних пластів за допомогою індикаторів (азотних сполук). *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, 4, 53–55.
13. Бойко, В. С. (Ред.) (2013). *Видобування нафти в ускладнених умовах*. Івано-Франківськ: Нова Зоря, 771.
14. Дорошенко, В. М., Дорошенко, С. В. (2015). Розвиток методів обмеження пластових вод у свердловину в умовах пізньої стадії розробки родовищ. *Нафтогазова галузь України*, 5, 34–37.