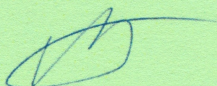


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

ВОЛОШИН ЮРІЙ ДМИТРОВИЧ



УДК 622.245

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОСВОЄННЯ СВЕРДЛОВИН
З НИЗЬКОПРОНИКНИМИ ПРОДУКТИВНИМИ ГОРИЗОНТАМИ**

05.15.10 – Буріння свердловин

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук
(доктора філософії)**

Івано-Франківськ – 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Мислюк Михайло Андрійович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу,
професор кафедри буріння свердловин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Судаков Андрій Костянтинович,
НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро,
професор кафедри нафтогазової інженерії та буріння

кандидат технічних наук,
Ставичний Євген Михайлович,
ПАТ «Укрнафта», м. Івано-Франківськ,
начальник служби закінчення та
випробування свердловин

Захист відбудеться « 12 » лютого 2024 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Автореферат розісланий «09» січня 2024 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

Лілія МАТІШИН

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність досліджень. Складні умови нафтогазової промисловості, що склалися сьогодні в Україні, потребують виважених, обґрунтованих і кваліфікованих експертних антикризових рішень щодо оптимізації фонду свердловин задля підвищення видобутку вуглеводнів та енергетичної безпеки країни. Станом на зараз 4300 свердловин, що знаходяться в межах спецдозволів «Укрнафти», є ліквідованими з тих чи інших геолого-технічних причин, а весь фонд ліквідованих свердловин разом зі спецдозволами інших компаній налічує понад 5600 свердловин. Частина цього фонду свердловин може бути відновлена проведенням операцій з метою інтенсифікації видобутку, капітальних і поточних ремонтів або буріння бокових стовбурів.

Успішність операцій з освоєння свердловин та їх продуктивність тісно пов'язана з системою якості спорудження свердловини і критично залежить від стану привибійної зони пласта (ПЗП). Тому комплексна проблема збереження та відновлення продуктивності свердловин при глушінні перед проведенням ремонтних робіт вимагає обґрунтованого вибору як рецептур технологічних рідин, так і параметрів технологій впливу на ПЗП.

Основою для вирішення вказаної проблеми є глибоке розуміння та детальне вивчення фізико-хімічних, гідродинамічних та міжфазних процесів, які протікають в ПЗП при імпульсно-хвильовому впливі у присутності технологічних рідин різного компонентного складу. Значний вклад у вивчення цих проблем внесли Алтуніна А.К., Антоніаді Д.Г., Бажалук Я. М., Баспаев Е. Т., Блажевич В.А., Булатов А. І., Гриценко А.І., Дибленко В.П., Желтов Ю.В., Зозуля Г.П., Кондрат Р.М., Крилов В.І., Мислюк М.А., Рябоконт С.А., Світлицький В.М., Сургучов М.Л., Токунов В.І., Ягафаров А.К., Яремійчук Р.С., Caenn R., Chen Z., Darley H.C.H., Fink J. K., Gray G.R., , Kenneth L. Bridges, , Lake L. та багато інших науковців.

Велика кількість існуючих на сьогодні рецептур рідин глушіння не гарантує високого ступеня досконалості свердловин за гідродинамічним зв'язком

з ПЗП, успішності виконання операцій глушіння та ремонту свердловин з наступним освоєнням. У зв'язку з цим робота направлена на розробку ефективних процедур вибору оптимальних рецептур технологічних рідин, що застосовуються при глушінні та освоєнні свердловин, що є актуальним для нафтогазової галузі.

Мета роботи. Підвищення ефективності освоєння свердловин із низькопроникними колекторами.

Досягнення поставленої мети пов'язане з вирішенням таких **основних завдань досліджень**.

1. Аналіз технологій освоєння свердловин із низькопроникними продуктивними горизонтами.
2. Дослідження впливу параметрів імпульсно-хвильової обробки на міцнісні та фільтраційно-ємнісні властивості моделей гірських порід.
3. Розробка моделі вибору оптимальних рецептур технологічних рідин для освоєння та глушіння свердловин.
4. Дослідження технологічних і поверхневих властивостей біополімерних рідин глушіння для умов Бугруватівського родовища.
5. Обґрунтування рекомендацій для підвищення ефективності освоєння свердловин із низькопроникними колекторами.

Методи дослідження. Експериментальні дослідження технологічних властивостей рідини глушіння проводили за стандартами та методиками API RP 13B, 13I на відповідному сучасному обладнанні із застосуванням методів планування експериментів та статистичної обробки отриманих результатів.

Дослідження впливу частоти, інтенсивності і тривалості імпульсно-хвильової обробки на міцність модельних зразків виконано з допомогою сертифікованого приладу Пульсар-1.1. У дослідженнях використовували штучні (виготовлені на основі піщано-цементної суміші) і природні (підготовлені із пісковика за методикою УкрНДПІ ПАТ «Укрнафта») керни. При підготовці кернів до експериментальних досліджень зміни фільтраційних характеристик враховано рекомендації ГОСТ 26450.0–85 і ОСТ 39-195–86.

Наукова новизна роботи.

1. За результатами експериментальних досліджень вивчено вплив імпульсно-хвильової дії на міцнісні властивості моделей гірських порід. Встановлено статистично значущий вплив тривалості вібраційної обробки (коефіцієнт кореляції $r_{\sigma t} = -0,664$) та потужності коливальної дії (коефіцієнт кореляції $r_{\sigma I} = -0,359$) на показник міцності.

2. За результатами досліджень циклічних навантажень на фільтраційні та міцнісні властивості штучних і природних кернів виявлено наявність домінантних частот, одні з яких ефективні для технологій очищення ПЗП, а інші – для ініціації росту втомних тріщин. Це дає підстави рекомендувати імпульсно-хвильові технології дії на ПЗП частоти у діапазоні 25–100 Гц.

3. Обґрунтовано трьохрівневу ієрархічну модель вибору оптимальної рецептури технологічних рідин для освоєння свердловин. На першому рівні з використанням нечітких моделей прийняття рішень вибирають підмножину еквівалентних рецептур, на другому – оптимальну рецептуру та її компонентний склад і на третьому – композицію ПАР для забезпечення необхідних поверхневих властивостей на границі розділу фаз фільтрат – пластовий флюїд.

Практичне значення одержаних результатів дисертації полягає у тому, що виконані дослідження, в межах області проведених експериментів, дають можливість обґрунтувати ефективні поєднання параметрів імпульсно-хвильових технологій освоєння свердловин із застосуванням оптимальних рецептур технологічних рідин. При цьому доведено, що для певних геомеханічних властивостей порід існують відповідні параметри імпульсно-хвильових технологій, які реалізують механізм втомного руйнування порід і сприяють підвищенню проникності пласта.

Особистий внесок здобувача. Постановку задачі сформульовано науковим керівником професором М.А. Мислюком. Другий розділ дисертації є результатом пошуку здобувачем рішень практичних проблем застосування імпульсно-хвильових технологій, сформованих на основі досвіду та ідей Я.М. Бажалука, і виконаний за його підтримки.

Здобувачем самостійно виконано комплекс експериментальних досліджень, вивчено вплив імпульсно-хвильової дії на зміну міцнісних і фільтраційних властивостей зразків гірських порід та їх моделей [3,4,9–11,15–18]. Також у відповідності до запропонованої ієрархічної моделі вибору оптимальної рецептури проведено дослідження технологічних і поверхневих властивостей рідин глушіння на біополімерній основі. На основі проведених робіт підготовлені та опубліковані статті у фахових виданнях [1–3,5]. Проведено дослідження впливу ПАР на реологічні властивості водонафтової емульсії, отриманої з нафти Бугруватівського родовища та фільтрату рідини глушіння [6,7,12,13]. Розв'язок задач вибору рецептур рідини глушіння з урахуванням прийнятих локальних критеріїв оптимальності та систем обмежень побудовано з допомогою системи MudExpert, авторами якої є М.А. Мислюк та Ю.М. Салижин.

Апробація матеріалів дисертації. Результати проведених досліджень доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науково-технічній конференції "Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи" (2014), науково-практичній конференції студентів і молодих учених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання» (2015), «Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи» (2017), міжнародній науковій конференції «Міжгалузеві диспути: динаміка та розвиток сучасних наукових досліджень» (2020), міжнародній науково-практичній конференції «Theoretical and empirical scientific research: concept and trends: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» (2020), міжнародній науково-практичній конференції «Science of post-industrial society: globalization and transformation processes» (2021), міжнародній науковій конференції «The driving force of science and trends in its development» (2021), міжнародній науковій конференції «16th International conference monitoring of geological processes and ecological condition of the environment» (2022).

Дисертаційна робота була заслухана в повному обсязі на засіданні кафедри буріння свердловин (протокол №15 від 07.07.2023 р.) і розширеному міжкафедральному науковому семінарі кафедри буріння свердловин (протокол №3 від 05.10.2023 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 18 наукових праць, з яких у співавторстві 4 статті у фахових наукових журналах (дві з яких індексуються в Scopus, в т.ч. 1 стаття періодичному науковому виданні інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку, з наукового напрямку, за яким підготовлено дисертацію), та 1 стаття у виданні, що індексується в міжнародній науко-метричній базі Scopus, 1 колективна монографія, а також 9 матеріалів міжнародних наукових, науково-практичних та всеукраїнських конференцій (в т.ч. 1 в Scopus) та отримано 2 патенти України на корисну модель і 1 патент України на винахід.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в рамках загального плану наукових досліджень Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, держбюджетної науково-дослідної роботи Д-7-15-П «Розроблення інноваційних технологій освоєння родовищ природних вуглеводнів з низькопроникними колекторами» (номер держреєстрації РК0115U002281) та Ф70/143-2017 «Вибір оптимальних рецептур бурових розчинів» (РК № 0117U007106).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 193 сторінках машинописного тексту, містить 24 таблиць, 30 рисунків. Складається зі вступу, чотирьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел із 218 найменувань та п'яти додатків.

Автор висловлює щире подяку науковому керівнику докт. техн. наук, проф. Мислюку М.А. за цінні поради в науковій роботі, а також дякує за підтримку при виконанні досліджень директору ТОВ «Інтекс» Бажалуку Я.М. та адміністрації ТОВ «Геосинтез Інженірінг».

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, вказано особистий внесок здобувача, подано інформацію про апробацію результатів дисертації, викладено зв'язок вибраного напрямку досліджень з науковими програмами.

У першому розділі наведено геолого-фізичні особливості низькопроникних колекторів, описано досвід освоєння свердловин та методи покращання фільтраційних властивостей ПЗП, обґрунтовано вибір напрямів і сформовано задачі досліджень.

У другому розділі наведено результати експериментальних досліджень на моделях гірських порід та зразках керна матеріалу, які дають можливість оцінити вплив деяких параметрів імпульсно-хвильової дії та вмісту ПАР на показники міцності і фільтраційно-ємнісні властивості.

Вивчено вплив вібраційних навантажень у поєднанні з ПАР на міцнісні властивості ізотропної моделі гірської породи (скло марки М2). Дослідження виконано за латинським планом експерименту, для якого керовані фактори змінювалися на 5 рівнях: частота ν вібрації – 20,40,80,100 та 130 Гц; концентрація c ПАР (сульфонол) – 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 і 2,0 %. Кількість дублювань дослідів $m = 10$. У кожній серії реалізація дослідів здійснювалась з урахуванням принципу рандомізації. Для умов експерименту оцінки середніх значень міцності на згин $\bar{\sigma}_B$ знаходяться в межах 32,22–35,93 МПа, за відсутності вібрації та ПАР середнє значення міцності складає 56,63 МПа.

Обробка результатів досліджень для показника міцності $g(\nu, c)$ виконана в класі поліноміальних моделей виду

$$g(\nu, c) = Bb(\nu, c), \quad (1)$$

де $b(\nu, c) = (1, \nu, c, \nu c, \nu^2, \dots, c^3)^T$ – вектор базисних функцій. Параметри B поліноміальної моделі (1) визначають в класі E різноманітних комбінацій базисних функцій із умови мінімізації дисперсії S_ε^2 адекватності

$$\min \left\{ S_\varepsilon^2 = \frac{1}{N-r_\varepsilon} \sum_{i=1}^N [Bb(\nu_i, c_i, \dots, c_i^3) - g_i]^2 \right\} \Rightarrow \{\hat{B}, \hat{\varepsilon}\}, \quad \varepsilon \in E, \quad (2)$$

де r_ε – кількість оцінюваних параметрів в моделях (1); ν_i, c_i – експериментальні дані згідно плану досліджень; g_i – результати вимірювань показника міцності в i -ому досліді плану експерименту.

Для міцності на згин σ_B отримано характерні залежності від концентрації сульфонолу при граничних значеннях частот (рисунок 1). Очевидно, що спільний

вплив факторів вібрації та ПАР вагомо понижуює показник міцності σ_B моделі гірської породи.

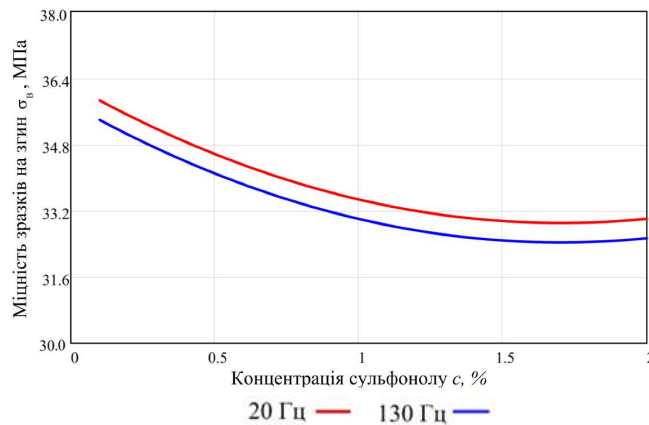


Рисунок 1 – Вплив частоти вібрації і концентрації сульфону на міцність моделі гірської породи на згин

Аналіз даних свідчить про наявність тенденції впливу концентрації ПАР на показник міцності (коефіцієнт кореляції $r_{c\sigma} = -0.900$ статистично значущий) та її відсутність для частоти коливань (коефіцієнт кореляції $r_{c\sigma} = -0.160$ статистично незначущий). Кількісно вплив концентрації сульфону на показник міцності в межах зміни факторів не перевищує 10 %.

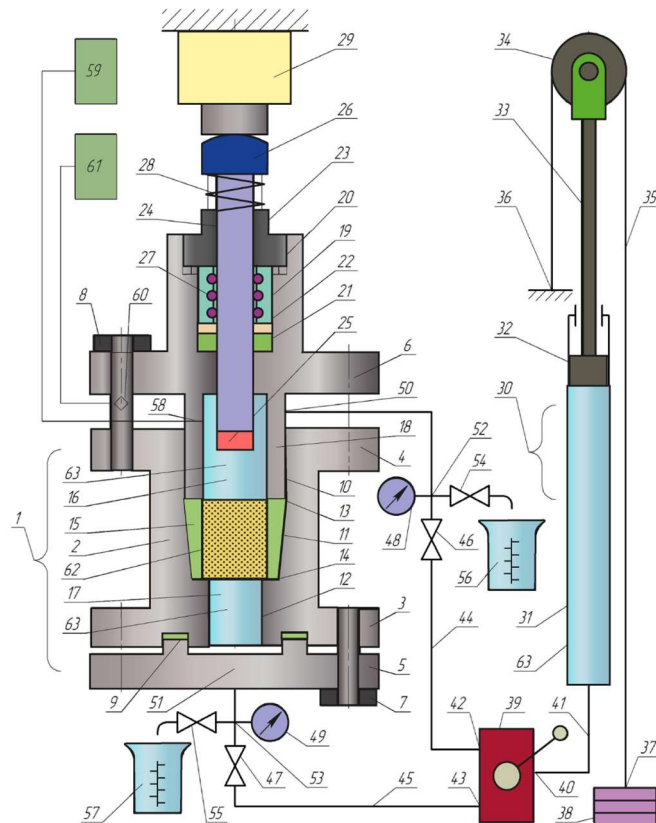
За допомогою приладу Пульсар-1.1 методом неруйнівного контролю вивчено вплив ПАР на зміну міцнісних властивостей анізотропних моделей гірських порід при імпульсно-хвильовому навантаженні. Керовані фактори: вміст ПАР (сульфон) c_s , потужність коливальної дії I та час обробки зразків t змінювали на 5-ти рівнях. Міцність зразків фіксувалася до та після обробки неруйнівним методом на чотирьох гранях. Для аналізу даних використано показник усередненої по гранях відносної міцності.

Обробка результатів досліджень показника відносної міцності для базисних функцій $b(c, I, t) = (1, c, I, t, cI, ct, It, cIt, c^2, I^2, t^2, c^2t, I^2c, I^2t, t^2I, I^3)^T$ в (1) виконана за умовою (2). Клас E включав 800 моделей. Найбільш адекватна модель $\hat{\varepsilon}$ з дисперсією адекватності $S_{\hat{\varepsilon}}^2 = 1,63 \cdot 10^{-4}$.

Аналіз результатів досліджень міцнісних властивостей вказує про статистично значущий вплив тривалості вібраційної обробки (коефіцієнт

кореляції $r_{\sigma t} = -0,664$) та потужності коливальної дії ($r_{\sigma I} = -0,359$) на показник відносної міцності і незначущий вплив концентрації ПАР ($r_{\sigma c} = 0,171$).

Вивчено зміну фільтраційних процесів в пористому середовищі під час циклічних навантажень імпульсного характеру за допомогою установки УДК-2 (рисунок 2). У досліджах фіксували зміну об'єму фільтрату до обробки імпульсами тиску, під час та після обробки з метою порівняння отриманих результатів.



1 – герметична фільтрувальна камера; 2 – циліндричний корпус; 3,4 – фланці; 5,6 – нижня та верхня кришки; 7,8 – болти; 9 – прокладка; 10 – циліндричний отвір; 11 – конічний отвір; 12 – циліндричний отвір; 13,14 – основи; 15 – пружна конічна втулка; 16 – верхня порожнина; 17 – нижня порожнина; 18 – натискний циліндричний виступ; 19 – східчастий осьовий отвір; 20 – різьба; 21 – ущільнення; 22 – шайба; 23 – натискна гайка; 24 – плунжер; 25 – ударник; 26 – борт; 27 – лінійний підшипник; 28 – пружина; 29 – генератор ударних імпульсів; 30 – вузол створення статичного тиску; 31 – циліндр; 32 – поршень; 33 – шток; 34 – блок; 35 – канат; 36 – нерухомий кінець канату; 37 – рухомий кінець канату; 38 – вантаж; 39 – двоходовий кран; 40 – вхід двоходового крану; 41 – патрубок; 42,43 – виходи двоходового крану; 44,45 – верхній та нижній патрубки; 46,47 – зворотні клапани; 48,49 – манометри; 50 – боковий отвір; 51 – осьовий отвір; 52,53 – хрестовини; 54,55 – вентилі; 56,57 – мірні стакани; 58,60 – давачі; 59,61 – реєструючі пристрої; 62 – зразок гірської породи; 63 – рідина.

Рисунок 2 – Установа для дослідження фільтраційних властивостей кернів в статичних і динамічних умовах УДК-2

Отриманий фільтрат вивчали методами літолого-петрографічного аналізу на наявність частинок мінералів, які можуть бути винесені з керну під час фільтрації. У дослідженнях використовували штучні і природні керни з урахуванням рекомендацій та положень ГОСТ 26450.0–85 і ОСТ 39-195–86.

Технологія виготовлення штучних кернів включала ситовий відбір певних фракцій, висушування керну при 100 °С у сушильній печі протягом 12 год та їх

залишення для зміцнення в нормальних умовах за постійної вологості на термін в 30 діб. Після підготовки зразки вакуумувались і насичувались моделлю пластової води з мінералізацією 50 г/л.

Амплітуда імпульсів тиску встановлена на рівні 2 МПа, виходячи із можливостей гідроімпульсного генератора ГКП-1 фірми «ІНТЕКС» в умовах реалізації технології імпульсно-хвильової обробки. Під час фільтраційних досліджень боковий тиск на керн підтримувався рівним 20 МПа, а перепад тиску на керн – 1,3 МПа. Робоча температура установки знаходилась в межах $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Заміри об'єму фільтрату проводили через 30 хв у мірній ємності при фільтрації без циклічних навантажень керна, під час та після навантажень. Кількість циклів навантаження приймалася на рівні близько 90 000. Фактичне значення амплітуди тиску, що передавалося через флюїд на керн визначалося за допомогою п'єзодетектора, розміщеного у внутрішній камері та за результатами вимірювань віброприскорення на поверхні керну з допомогою віброметра 795 M107B.

За результатами досліджень виявлено зміну об'ємів фільтрату для штучних і природних кернів під час і після гідроімпульсної обробки (рисунок 3).

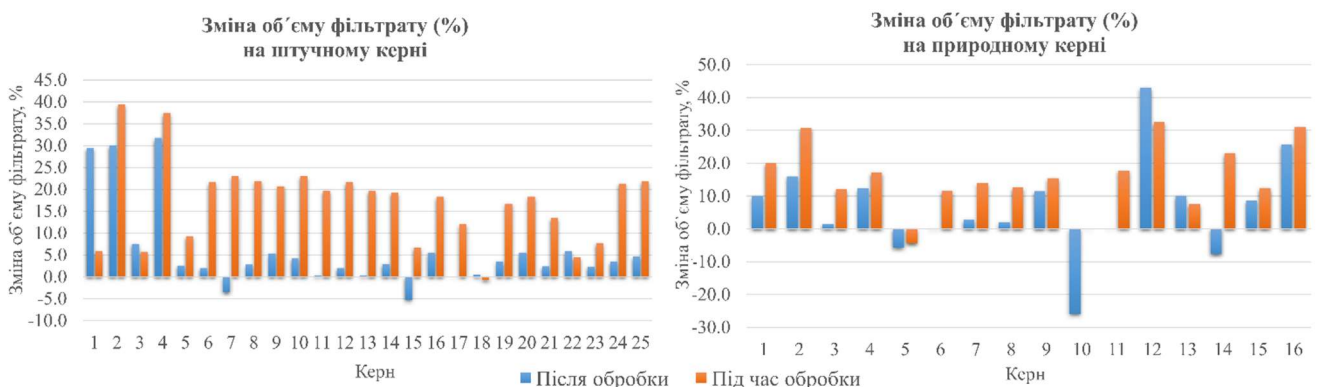


Рисунок 3 – Зміна об'єму фільтрату при гідроімпульсній обробці штучних і природних кернів

Встановлено наявність домінантних частот, одні з яких є ефективні для технологій очищення ПЗП, а інші – для ініціації росту втомних тріщин. Отримані результати дають підстави рекомендувати застосування імпульсно-хвильових технологій впливу на ПЗП у діапазоні частот 25–100 Гц. Зміна об'єму фільтрату для штучного керна знаходиться в межах 5–30 %, а природного – у межах 10 – 42 %.

Результати досліджень впливу параметрів вібраційної дії у поєднанні з ПАР на міцнісні та фільтраційні властивості порід можуть бути використані для обґрунтування дизайну технологій освоєння свердловин з імпульсно-хвильовою обробкою ПЗП.

У третьому розділі основна увага приділяється моделям вибору рецептур технологічних рідин для освоєння свердловин [6], а також дослідженням властивостей рідин глушіння на біополімерній основі [2,5,8,14].

Обґрунтовано трьохрівневу ієрархічну модель вибору оптимальної рецептури технологічних рідин для освоєння свердловин. На першому рівні з використанням нечітких моделей прийняття рішень вибирають підмножину еквівалентних рецептур, на другому – оптимальну рецептуру та її компонентний склад і на третьому – композицію ПАР для забезпечення необхідних поверхневих властивостей на границі розділу фаз фільтрат – пластовий флюїд.

Для умов низькопроникних колекторів запропоновано рідину глушіння на біополімерній основі, технологічні властивості якої регулюються в широких межах. На основі проведених досліджень встановлено кореляційні зв'язки та регресійні залежності між технологічними і поверхневими властивостями рідини глушіння та концентраціями ПАР і хлориду натрію. На рисунку 4 показано залежності коефіцієнту міжфазного натягу від вмісту компонентів рідини глушіння.

Обґрунтовано вибір типу та вмісту ПАР у технологічних рідинах на основі водних розчинів неорганічних солей. За отриманими результатами встановлено, що оптимальний вміст ПАР залежить від типу та вмісту солі, якою регулюється густина рідини глушіння. Спільне використання неолу та CaBr_2 призводить до синергізму, за якого міжфазний натяг знижується до 1 мН/м при вмісті неолу 0,25 % з умовою збереження заданої густини рідини глушіння.

При вмісті NaCl у 10 % оптимальне поєднання ПАР, що забезпечує мінімальний міжфазний натяг в 1,24 мН/м, включає 0,50 % сольпену і 0,25 % неолу. Для вмісту NaCl 30 % співвідношення є іншим (0,25 % сольпену і 0,50 % неолу) та забезпечує міжфазний натяг на межі фільтрат рідини глушіння – нафта Бугруватівського родовища на рівні 4,13 мН/м.

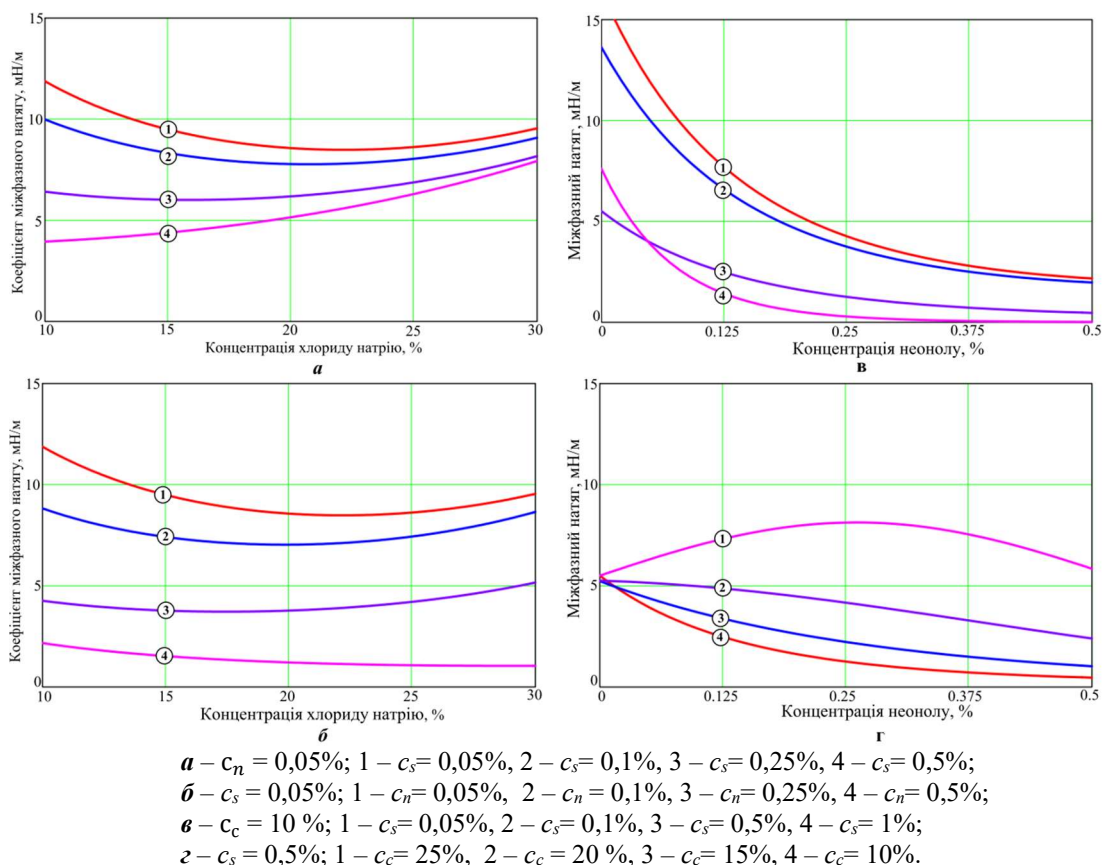


Рисунок 4 – Залежності коефіцієнту міжфазного натягу від вмісту компонентів рідини глушіння

Запропоновано методику вибору рецептур технологічних рідин шляхом виділення оптимальної рецептури за мінімальними значеннями міжфазного натягу та подальшим вивченням впливу вмісту ПАР на в'язкість водонафтових емульсій з різним співвідношенням W/O. Для найбільш високов'язких емульсій (W/O=40:60) оптимальна добавка неололу та сольпену значно зменшує їх в'язкісні властивості (рисунок 5).

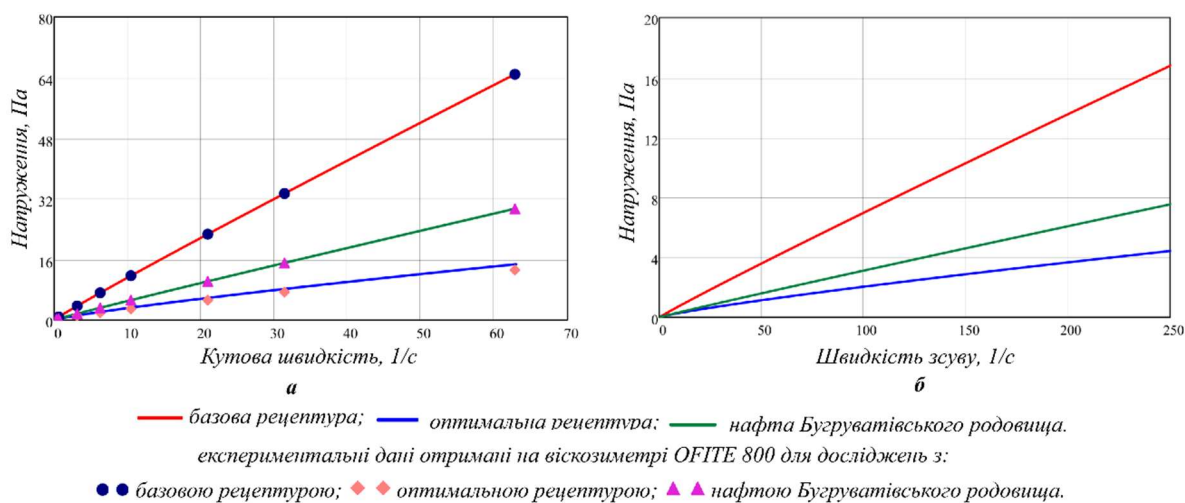


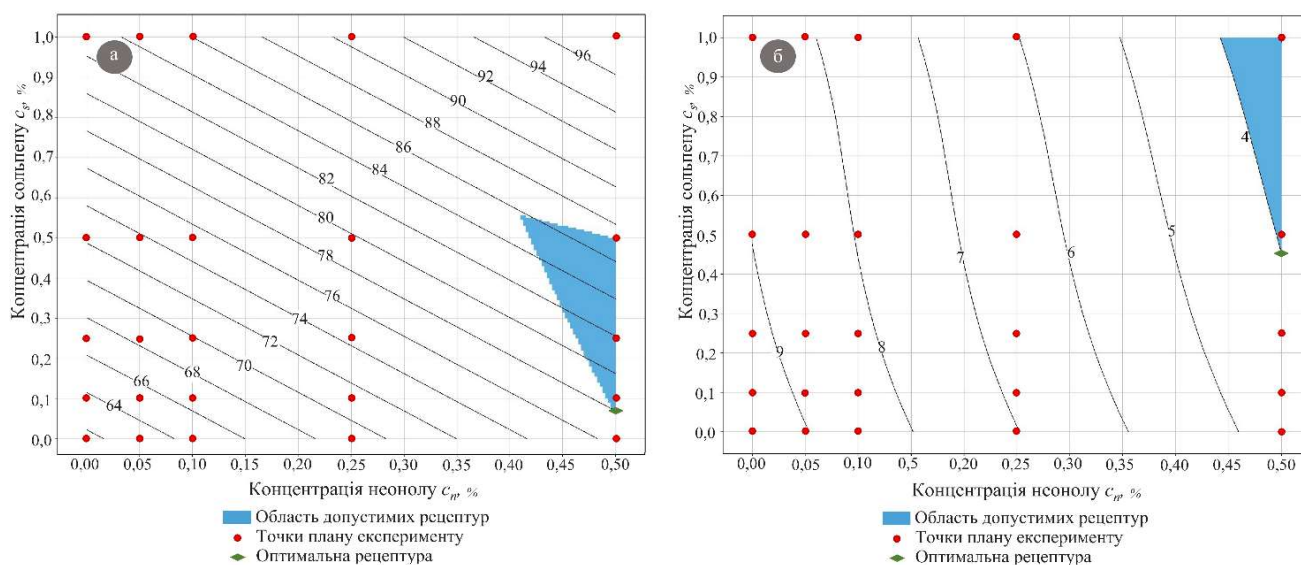
Рисунок 5 – Реограма (а) та реологічна крива (б) отриманої емульсії

Тому одночасне застосування сольпену і неолу в оптимальному співвідношенні може бути рекомендовано для умов Бугруватівського родовища з метою забезпечення якісного освоєння та зменшення часу виходу свердловин на режим.

У четвертому розділі обґрунтовано вибір параметрів технологій імпульсно-хвильової дії на привибійну зону (амплітудно-частотних характеристик, тривалості обробки та депресії) з метою підвищення ефективності освоєння свердловин із низькопроникними колекторами. Під час освоєння свердловин рекомендується поєднання струминних насосів, гідроімпульсних генераторів з такими робочими параметрами: витрата робочої рідини 3–15 л/с, частота імпульсів тиску 25–100 Гц, діапазон амплітуд 2–6 МПа, інтенсивність до $I_{r0} = 52 \cdot 10^4$ Вт/м².

На прикладі гірничогеологічних і технологічних умов Бугруватівського нафтового родовища обґрунтовано вибір оптимальних рецептур рідин глушіння за критеріями вартості (78 \$/м³), міжфазного натягу на границі розділу фаз фільтрат – нафта (1,24 мН/м) (рисунк 6) та виносної здатності ($k_{CCI} = 0,1434$).

Модель вибору оптимальних рецептур технологічних рідин та результати лабораторних досліджень покладено в основу рекомендацій з вибору рідин глушіння свердловин, які затверджено ТОВ "Геосинтез інженірінг".



a – рецептура з мінімальною вартістю; *б* – рецептура з мінімальним міжфазним натягом.

Рисунок 6 – Вплив концентрацій сольпену і неолу на вибір оптимальної рецептури рідини глушіння (Т= 70 °С)

Під час апробації технології освоєння на свердловині 63-Дузлак із використанням імпульсно-хвильового впливу на продуктивний горизонт у промислових умовах реалізовано інженерний підхід із вибору свердловини-кандидата, рецептури технологічної рідини і параметрів комбінованої імпульсно-хвильової депресійної обробки привибійної зони.

Проведено операції з впливу циклічними депресіями шляхом прокачування в НКТ технологічної рідини (пластова вода густиною 1030 кг/м^3) за допомогою насосного агрегату ЦА-320 при робочих тисках на гирлі свердловини 3 – 3,5 – 4,5 – 5,5 – 6 МПа. Максимальне значення припливу спостерігалось після 4 год гідроімпульсної обробки ПЗП. Сумарний час впливу циклічними депресіями на пласт склав 89 год (рисунок 7), а приплив флюїду за цей час – $2,7 \text{ м}^3$.

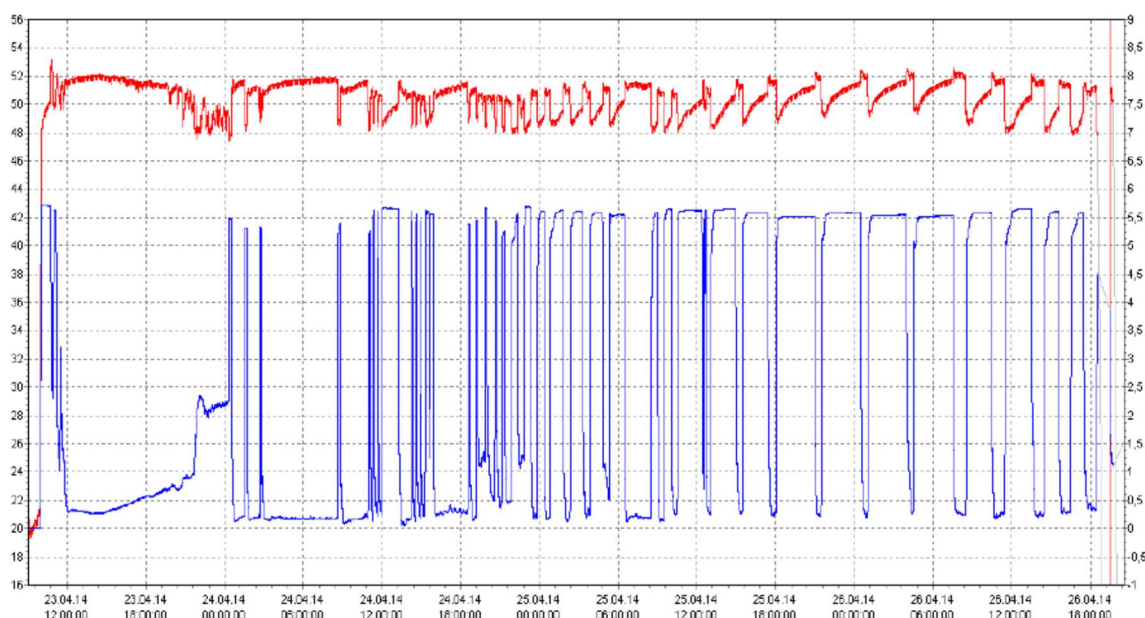


Рисунок 7 – Зміна тиску і температури у свердловині 63-Дузлак при циклічній дії

Результати апробації у промислових умовах на свердловині 63-Дузлак свідчать про позитивні ефекти за рахунок очищення ПЗП від високов'язкого кольматанту об'ємом $3,5 \text{ м}^3$ та успішного освоєння свердловини.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій на основі експериментальних досліджень і дослідно-промислових випробувань обґрунтовано імпульсно-хвильові технології освоєння свердловин із низькопроникними колекторами. Отримано такі основні результати.

1. Експериментально досліджено вплив параметрів імпульсно-хвильової дії та концентрації ПАР (сульфонол) на міцнісні властивості моделей гірських порід. Встановлено статистично значущий вплив тривалості вібраційної обробки (коефіцієнт кореляції $r_{\sigma t} = -0,664$) і потужності коливальної дії ($r_{\sigma I} = -0,359$) на показник відносної міцності. Побудовано рівняння регресії показника відносної міцності від параметрів коливальної дії та концентрації сульфонола.

2. Розроблено установку УДК-2 для дослідження впливу циклічних навантажень на фільтраційно-ємнісні властивості гірських порід (патент UA 125000). За результатами досліджень встановлено підвищення об'єму фільтрату на 36–38% і 26–30% відповідно для штучних і природних кернів. Виконано кореляційний аналіз між зміною об'єму фільтрації та параметрами імпульсно-хвильової дії, виявлено домінуючі частоти, які ефективні для очищення ПЗП та ініціації росту втомних тріщин.

3. На основі ієрархічної моделі прийняття рішень запропоновано модель вибору оптимальних рецептур технологічних рідин для відповідних гірничогеологічних умов. На першому рівні ієрархічної структури з використанням нечітких моделей прийняття рішень передбачено обґрунтування підмножини еквівалентних рецептур технологічної рідини. На другому рівні на основі результатів експериментальних досліджень обґрунтовують вибір оптимальної рецептури та її компонентного складу. На третьому рівні за результатами експериментальних досліджень базової рецептури підбирають композицію ПАР для забезпечення необхідних поверхневих властивостей технологічної рідини на границі розділу фаз фільтрат – флюїд.

4. Досліджено технологічні і поверхневі властивості біополімерної системи для глушіння нафтових свердловин Бугруватівського родовища. Побудовано регресійні залежності технологічних і поверхневих властивостей від компонентного складу (в т. ч. вмісту ПАР – сульфонол і неонол) рідини глушіння, які є інформаційним забезпеченням задачі вибору оптимальної рецептури.

5. Обґрунтовано вибір параметрів технологій імпульсно-хвильової дії на привибійну зону з метою підвищення ефективності освоєння свердловин із

низькопроникними колекторами. Поєднання струминних насосів з гідроімпульсними генераторами спеціальної конструкції, що дозволяє створювати коливання з інтенсивністю до $I_{r0} = 52 \cdot 10^4$ Вт/м² при раціональному застосуванні (витрата робочої рідини 3–15 л/с, частота імпульсів тиску 25–100 Гц, діапазон амплітуд 2–6 МПа), сприяє підвищенню проникності ПЗП за рахунок її очищення від кольматанту та утворення мікротріщин внаслідок прояву втомних явищ гірських порід при циклічних навантаженнях. Результати апробації у промислових умовах на свердловині 63-Дузлак свідчать про позитивні ефекти за рахунок очищення ПЗП від високов'язкого кольматанту об'ємом 3,5 м³ та успішного освоєння свердловини.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Деякі напрями удосконалення технологій спорудження свердловин на сланцевий газ / М. А. Мислюк та ін. *Нафтогазова галузь України*. 2013. № 1. С. 40–45.
2. Полутренко М. С., Богославець В. В., Волошин Ю. Д. Дослідження поверхневих і реологічних властивостей безглинистого біополімерного бурового розчину, обробленого поверхнево-активною речовиною М-1. *Нафтогазова енергетика*. 2021. Т. 35, № 1. С. 91–97.
3. Application of pulse-wave technology for oilwell completion / Y. M. Bazhaluk et al. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2016. No. 5. P. 16–20.
4. Elastic waves influence upon enhancement of shale rocks fracturing / Y. Bazhaluk et al. *Annual scientific-technical collection – Mining of mineral deposits* / ed. by G. Pivnyak et al. London, 2013. P. 369–371.
5. Myslyuk M. A., Voloshyn Y. D., Zholob N. R. Assesment of rheological properties of drilling fluids based on rotational viscometry data. *SOCAR Proceedings Special Issue*. 2023. No. 2. P. 41–53.

Матеріали наукових конференцій

6. Богославець В. В., Волошин Ю. Д. Особливості вибору рідин глушіння для свердловин з низькопроникними продуктивними горизонтами. *Міжгалузеві диспути: динаміка та розвиток сучасних наукових досліджень: Матеріали міжнар. наук. конф., м. Вінниця, 10 лип. 2020 р.* С. 98–101.

7. Волошин Ю. Д., Васютин Д. Ю. О возможности повышения качества освоения скважин. *Science of post-industrial society: globalization and transformation processes*: I Міжнар. науково-практ. конф., м. Відень, 4 черв. 2021 р. Вінниця, С. 123–130.
8. Волошин Ю. Д., Васютин Д. Ю. Разработка рецептуры промивальной рідини для буріння в нестійких глинистих відкладах. *The driving force of science and trends in its development*: I International Scientific and Theoretical Conference, м. Coventry, 29 січ. 2021 р. С. 116–117.
9. Волошин Ю. Д. Оцінка міцнісних властивостей гірських порід з допомогою неруйнівних методів. *Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання*: зб. тез доп. 5-ої наук.-практ. конф. студентів і молодих уч., м. Івано-Франківськ / ред. І. С. Кісіль. Івано-Франківськ, 2015. С. 44–46.
10. Волошин Ю. Д. Удосконалення імпульсно-хвильової технології освоєння свердловин. *Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи*: Матеріали міжнар. науково-техн. конф., м. Івано-Франківськ, 10–12 груд. 2014 р., С. 142–144.
11. Експериментальні дослідження зміни проникності порового середовища пласта в умовах знакозмінних навантажень /Я. М. Бажалук та ін. *Нафтогазова енергетика-2017*: Міжнар. науково-техн. конф., м. Івано-Франківськ, 15–19 трав. 2017 р. С. 49–50.
12. Куцив О. В., Волошин Ю. Д. Проблемы формирования водонефтяных эмульсий в низкопроницаемых пластах. *Theoretical and empirical scientific research: concept and trends: Collection of scientific papers «ΛΟΥΓΟΣ»*: International Scientific and Practical Conference, м. Oxford, 24 черв. 2020 р. С. 50–53.
13. Bohoslavets V., Voloshyn Y., Sushkevych I. Improving the quality of productive layer disclosure. *Міжгалузеві диспути: динаміка та розвиток сучасних наукових досліджень*: Міжн. наукова конф., Вінниця, 10 July 2020, P. 70–72.
14. Research of the properties of potassium format for the preparation of drilling fluid / V. V. Bohoslavets et al. *16th international conference monitoring of geological processes and ecological condition of the environment*, Kyiv, Ukraine, 2022.

Патенти

15. Мандрик О.М., Бажалук Я.М., Ропяк Л. Я., Волошин Ю.Д. та ін. Патент на винахід №125000 від 22.12.2021 Пристрій для дослідження фільтрування рідин через пористі гірські породи, бюл.51/2021.

16. Маритчак М. Б., Климишин Я. Д., Ногач М.М., Волошин Ю. Д., Слободян В. І., Бажалук Я.М. Патент на корисну модель UA № 116402 (13) U, Імпульсний генератор 25.05.2017, Бюл.№ 10.

17. Бажалук Я.М., Карпаш О.М., Райтер П.М., Климишин Я.Д., Худін М.В., Волошин Ю.Д. Патент на корисну модель UA № 117156 Спосіб підвищення нафтовилучення із пластів на завершальній стадії експлуатації.

Частина монографії

18. Bazhaluk, Y. M. New technology for the intensification of oil and gas recovery from depleted and marginal wells: колективна монографія / Y. M. Bazhaluk, O. M. Karpash, Y. D. Voloshyn. – General and complex problems of technical sciences. – Petrosani: UNIVERSITAS Publishing, 2019. – С. 185-201.

АНОТАЦІЯ

Волошин Ю. Д. Удосконалення технологій освоєння свердловин з низькопроникними продуктивними горизонтами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.10 «Буріння свердловин». – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2023.

Проаналізовано сучасний стан технологій освоєння свердловин з низькопроникними продуктивними горизонтами та обґрунтовано деякі напрями їх вдосконалення.

Вивчено вплив вібрації з частотами 20–130 Гц та концентрації сульфонолу 0,1–2,0% на міцність моделі гірської породи на згин. Побудовано рівняння регресії показника міцності від концентрації сульфонолу і частоти вібрації. Для анізотропних моделей гірської породи за результатами експериментальних досліджень встановлено статистично значущий вплив тривалості вібраційної

обробки і потужності коливальної дії та незначущий вплив концентрації сульфонолу на показник відносної міцності. Побудовано рівняння регресії показника відносної міцності від інтенсивності і часу коливальної дії та концентрації сульфонола. Досліджено вплив циклічних навантажень на фільтраційні властивості штучних і природних кернів.

Запропоновано трьохрівневу ієрархічну модель вибору оптимальної рецептури технологічних рідин для освоєння свердловин. На основі проведених досліджень встановлено кореляційні зв'язки та регресійні залежності між деякими технологічними і поверхневими властивостями рідини глушіння на біополімерній основі та концентраціями ПАР і хлориду натрію.

Обґрунтовано вибір типу та вмісту ПАР у технологічних рідинах на основі водних розчинів неорганічних солей. При цьому виявлено, що одночасне використання неонолу при вмісті 0,25 % та CaBr_2 синергетично мінімізує міжфазний натяг до значень менше 1 мН/м. За результатами проведених досліджень запропоновано методику вибору рецептур технологічних рідин за мінімальними значеннями міжфазного натягу та вивченням впливу вмісту ПАР на в'язкість водонафтових емульсій з різним співвідношенням W/O.

Обґрунтовано вибір параметрів технологій імпульсно-хвильової дії на привибійну зону з метою підвищення ефективності освоєння свердловин із низькопроникними колекторами. При цьому основну увагу приділено вибору амплітудно-частотних характеристик, тривалості обробки та депресії на пласт. На прикладі гірничогеологічних і технологічних умов Бугруватівського нафтового родовища обґрунтовано вибір оптимальних рецептур рідин глушіння за критеріями вартості одиниці об'єму ($78 \text{ \$/m}^3$), мінімального міжфазного натягу на границі розділу фаз фільтрат рідини – нафта (1,24 мН/м) та ефективною виносної здатності (0,1434).

Ключові слова: вибір рецептур технологічних рідин, глушіння свердловин, дослідження керну, імпульсно-хвильовий вплив, коефіцієнт міжфазного натягу, міцність гірських порід, обробка привибійної зони, освоєння свердловин, поверхнево-активна речовина, реологічні властивості водонафтової емульсії, фільтрація, циклічні навантаження, якість освоєння свердловин.

ANNOTATION

Voloshyn Yu. D. Improvement of well development technologies with low-permeability productive horizons. – Qualification scientific work on manuscript copyrights.

Dissertation for obtaining an academic degree of Candidate of Technical Sciences (doctor of philosophy) in major 05.15.10 – Well drilling. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2023.

The current state of well development technologies with low-permeability productive horizons is analyzed and some directions for their improvement are substantiated.

Using experiment planning methods, the effect of vibration with frequencies of 20 – 130 Hz and sulfonol concentration of 0,1–2,0% on the bending strength of the rock model was studied. A statistically significant effect of sulfonol concentration on the strength index of the isotropic rock model has been established. An equation of regression of the strength indicator from the concentration of sulfonol and vibration frequency is constructed.

The effect of cyclic loads on the filtration and strength properties of artificial and natural cores has been studied. The presence of dominant frequencies has been established, some of which are effective for technologies for cleaning the blasting area of boards, and others – to initiate the growth of fatigue cracks. The results obtained give grounds to recommend frequencies in the range of 25–100 Hz and can be used to justify the design of technologies for the development of wells with pulse-wave treatment of the bottom-hole formation zone.

A three-level hierarchical model for selecting the optimal formulation of process fluids for well development has been proposed. At the first level, using fuzzy decision-making models, the choice of a subset of equivalent formulations is substantiated, at the second – optimal formulation and its component composition and at the third – the composition of two (neonol and solpen) surfactants (SAR) to provide the necessary surface properties at the phase section boundary of the filtrate of the process fluid – reservoir fluid.

For the conditions of low-permeable collectors, a biopolymer-based well-killing fluids proposed. Based on the studies conducted, correlations and regression dependencies

between some technological and surface properties of the well-killing fluid and concentrations of surfactant and sodium chloride have been established.

The choice of the type and content of surfactant in process fluids based on aqueous solutions of inorganic salts is substantiated. According to the results of the conducted studies, a method for selecting formulations of technological liquids by minimum values of interphase tension and the study of the effect of surfactant content on the viscosity of oil-water emulsions with different W/O ratios was proposed.

The choice of parameters of pulse-wave action technologies on the bottomhole formation zone is substantiated in order to increase the efficiency of well development with low-permeability collectors. At the same time, the main attention is paid to the choice of amplitude-frequency characteristics, the duration of processing and depression on the layer. On the example of mining and technological conditions of the Bugruvativk oil field, the choice of optimal formulations of well-killing fluids according to the criteria of unit cost of volume (78 \$/m³), the minimum interphase tension at the phase boundary of the filtrate of the liquid – oil (1.24 mN/m) and effective remoteness is substantiated.

During the testing of the development technology using pulse-wave impact on the productive horizon, an engineering approach was implemented to select a candidate well, the formulation of the process fluid and the parameters of the combined pulse-wave depression treatment of the bottom-hole formation zone. The results of testing in industrial conditions at the well 63-Duzlak indicate positive effects due to the cleaning of the bottom hole zone from high-viscous colmatant with a volume of 3.5 m³ and successful development of the well.

Keywords: bottom hole treatment, coefficient of interphase tension, core study, cyclic loads, filtration, pulse-wave impact, quality of well completion, rheological properties of oil-water emulsion, strength of rocks, selection of formulations of technological fluids, surfactant, well completion, well killing operation.

Видавництво Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
тел. (03422) 547139, факс (03422) 547266,
<http://nung.edu.ua>, e-mail: public@nung.edu.ua
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців
ІФ № 18 від 12.03.2002 р.

Підписано до друку 28.12. 2023 р. Формат 60x84 1/16 Папір офсетний

Ум. друк. арк 1 Тираж 100 прим. Зам. № 82