

Міністерство освіти і науки України
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра нафтогазової інженерії та технологій

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Підвищення ефективності технології кислотного гідравлічного розриву пласта в карбонатних колекторах.

Розробив студент групи 601-МВ
Керівник роботи

Лижнюк О.П.
доц. Бухкало С.І.

2025

Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра нафтогазової інженерії та технологій
Спеціальність 185 Нафтогазова інженерія та технології

До захисту

Завідувач кафедри
В.о. Директор Інституту
С.П.Мих

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: Підвищення ефективності технології кислотного гідравлічного розриву пласта в карбонатних колекторах

Пояснювальна записка

Керівник

Доц. Бухкало С.І.

посада, наук. ступінь, ПІБ

С.І.

підпис, дата,

Виконавець роботи

Лижнюк Олександр Павлович

студент, ПІБ

група 601-МВ

М.Л.
підпис, дата

Консультант за 1 розділом

к.т.н. доц. Михайлівська О.В.

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 2 розділом

к.т.н., доцент Гостеренко Т.М.

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 3 розділом

к.т.н. Савук В.С.

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 4 розділом

к.т.н. доц. Михайлівська О.В.

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис


Дата захисту 23.09.2023р.

Полтава, 2024

Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут: Нафти і газу
Кафедра: Нафтогазової інженерії та технологій
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Магістр
Спеціальність: 185 Нафтогазова інженерія та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри НГІТ
В.о. директора ННІНГ
«___» _____ 20__ року


З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Лижнюк Олександр Павлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Підвищення ефективності технології кислотного гідравлічного розриву пласта в карбонатних колекторах.

Керівник проекту (роботи) доцент Бухало С.І.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навч. закладу від «09» 08 2024 року № 818-ф.о.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 27.12.2024р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) 1. Науково-технічна література, періодичні видання, патенти на винаходи, конспекти лекцій. 2. Проекти розробки чи технологічні схеми розробки родовищ (за необхідності). 3. Геологічні звіти та звіти фінансової діяльності підприємств за профілем роботи. 4. Технологічні режими роботи свердловин та експлуатаційні карточки свердловин.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ і Інформаційно-оглядова частина.

2. Експериментальна частина.

3. Теоретична частина (Аналітика. Моделювання).

4. Впровадження результатів досліджень Висновки по проекту.

5. Перелік графічного матеріалу

Досвід застосування технології в карбонатних колекторах, ефект кислотного гідравлічного розриву пласта, уявлення про перевірки кислотного ГРП, розривання фракцій, що впливають на ефективність кислотного ГРП, в карбонатних породах-колекторах

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 | к.тн. доц. Михайловська О.В. | | |
| 2 | к.тн. доц. Шестеренко Т.М. | | |
| 3 | к.тн. доц. Савчук В.С. | | |
| 4 | к.тн. доц. Михайловська О.В. | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Етапи підготовки | Термін виконання |
|-------|---|------------------|
| 1 | Інформаційно-оглядова частина | 14.10-03.11 |
| 2 | Експериментальна частина | 04.11-24.11 |
| 3 | Теоретична частина (Аналітика. Статистика. Моделювання) | 25.11-15.12 |
| 4 | Впровадження результатів досліджень | 16.12-05.01 |
| 5 | Оформлення та узгодження роботи | 06.01-12.01 |
| 6 | Попередні захисти робіт | 13.01-17.01 |
| 7 | Захист магістерської роботи | |

Студент

(підпис)

Міжнюк О.Т.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гуржова С.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Лижнюка Олександра Павловича

«Підвищення ефективності технології кислотного гідравлічного розриву пласта в карбонатних колекторах»

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 185 «Нафтогазова інженерія та технології». Національний університет «Полтавська Політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2024.

Ефективність ГРП за площею знижується з зростанням проникності, що обумовлено випереджальною фільтрацією рідини розриву у поровий простір пласта. Застосування технології нафтокислотних емульсій дозволяє у 3-4 рази збільшити радіус кислотного впливу на нафтонасичені інтервали пласта в порівнянні зі звичайною соляно-кислотою обробкою та ГРП.

Збільшення в'язкості нафтокислотної рідини розриву отримували шляхом безконтактної обробки пластової води, до введення соляної кислоти, дистильованою водою, підданої електрохімічній обробці. Величина ефективної в'язкості нафтокислотної емульсії, приготовленої на безконтактно обробленій пластовій воді, перевищує величину в'язкості стандартної нафтокислотної емульсії, чим збільшує ефективність обробки.

Очікуваний ефект від кислотного гідравлічного розриву пласта на свердловині №77 на Бугруватівському родовищі складе збільшення видобутку у 4,28 рази у перший рік експлуатації. Проведення кислотного ГРП на свердловині № 77 Бугруватівського родовища є ефективним, оскільки впровадження даного заходу дозволить підприємству отримати економічний ефект в розмірі майже 14,59 млн.грн. за перший рік експлуатації свердловини

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РОДОВИЩЕ, НАФТОКИСЛОТНА ЕМУЛЬСІЯ, ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРИВ ПЛАСТА, СВЕРДЛОВИНА, НАФТОПРОДУКТИ.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 8 |
| РОЗДІЛ 1 | 10 |
| ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОВЕДЕННЯ КИСЛОТНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРИВУ ПЛАСТА..... | 10 |
| 1.1 Сучасні технології кислотного ГРП..... | 10 |
| 1.2 Досвід застосування технології в карбонатних колекторах | 13 |
| 1.3. Ускладнення при впровадженні технології на свердловинах | 15 |
| 1.4 Недоліки існуючих технологій кислотного ГРП | 18 |
| 1.5 Висновок за розділом 1 | 21 |
| РОЗДІЛ 2 | |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ КИСЛОТНОГО ГРП В КАРБОНАТНИХ ПОРОДАХ- КОЛЕКТОРАХ..... | 23 |
| 2.1. Загальна характеристика факторів, що впливають на ефективність проведення робіт | 23 |
| 2.2 Дослідження впливу факторів на охоплення впливом при кислотному гідравлічному розриві пласта..... | 24 |
| 2.3. Вплив якості реагентів (нафтокислотної емульсії) на ефективність технології | 25 |
| 2.4 Висновки до розділу 2 | 31 |
| РОЗДІЛ 3. | |
| ПРОПОЗИЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НА БУГРУВАТІВСЬКОМУ РОДОВИЩІ | 32 |
| 3.1 Загальні відомості про родовище | 32 |
| 3.2 Літолого-стратиграфічна характеристика | 33 |

| | | |
|---|----|----|
| | 7 | |
| 3.3. Тектонічна будова родовища | 40 | |
| 3.4. Нафтогазоводоносність. Об'єкти розробки..... | 43 | |
| 3.5. Фізико-хімічні властивості пластових флюїдів | 44 | |
| 3.6. Аналіз поточного стану розробки Бургуватівського родовища..... | 45 | |
| 3.7. Обґрунтування методів дії на привибійну зону пласта, що застосовуються, для інтенсифікації видобутку нафти | 54 | |
| 3.8. Висновки до розділу 3 | 59 | |
| РОЗДІЛ 4 | | |
| ТЕХНОЛОГІЯ ТА ПЕРЕВАГИ ПРОВЕДЕННЯ КИСЛОТНОГО ГРП НА БУГРУВАТІВСЬКОМУ РОДОВИЩІ..... | | 60 |
| 4.1. Порядок робіт при кислотному гідравлічному розриві пласта | 65 | |
| 4.2. Безреагентне регулювання властивостей, нафтокислотних рідин розриву для збільшення-продуктивності пласта | 69 | |
| 4.3. Висновок до розділу 4 | 78 | |
| РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ..... | | 79 |
| ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОЕКТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ..... | | 79 |
| 5.1. Визначення додаткового видобутку нафти | 79 | |
| 5.2. Розрахунок витрат на здійснення запроєктованого рішення і калькуляції собівартості видобутку нафти..... | 80 | |
| 5.3. Розрахунок економічного ефекту від впровадження запроєктованого рішення..... | 85 | |
| 5.4. Висновок за розділом 5..... | 85 | |
| ВИСНОВКИ..... | | 87 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | | 89 |

ВСТУП

Актуальність теми. Здійснення геолого-технічних заходів, призначених для інтенсифікації видобутку продукції свердловин та зниження обводненості продукції, що видобувається, є одним з перспективних напрямків технічного прогресу в нафтовій промисловості. В більшості нафтогазовидобувних регіонів погіршення структури запасів та виснаження високопродуктивних покладів супроводжуються зростанням частки важковидобувних запасів з низькими дебітами свердловин.

При цьому успішність геолого-технічних заходів з часом, як правило, знижується, і це є складною проблемою, вирішення якої є актуальним завданням.

Процес ГРП, що впроваджується у промисловість з 1947 року, і є стандартною промисловою практикою на сьогоднішній день. До 1981 було проведено понад 800 000 операцій з гідравлічного розриву пласта.

До 1988 це число перевищило 1 мільйон (John etc, 1989). В даний час лідируючі позиції за кількістю проведених ГРП займають США і Канада. Приблизно на 35-40% всіх пробурених свердловин проведено гідравлічний розрив пласта.

Призначення гідравлічного розриву пласта полягає в наступному: 1) збільшення продуктивності видобувних та прийомистості нагнітальних свердловин; 2) підвищення нафтовіддачі пластів з видобувних свердловин, відновлення робочих показників, невідновних традиційними способами; 3) метод розробки нафтових та газових родовищ.

Гідравлічний розрив пласта (ГРП) є однією з найбільш ефективних технологій та засобів підвищення дебітів свердловин, оскільки за певних умов суттєво розширює зону дренавання.

Метою роботи є дослідження процесу інтенсифікації вилучення нафти з карбонатного колектора із застосуванням кислотного гідророзриву пласта із застосуванням нафтокислотної емульсії з дистильованою водою, яка

електрохімічно оброблена та надання рекомендацій щодо впровадження на колекторах Бугруватівського нафтового родовища.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести теоретичний огляд технологій кислотного ГРП у карбонатних колекторах.

Опис основних теоретичних положень технології кислотного гідророзриву пласта із застосуванням нафтокислотної емульсії з дистильованою водою, підданої електрохімічній обробці задля досягнення максимального коефіцієнта нафтовилучення.

2. Впровадження технології кислотного ГРП на Бугруватівському родовищі.

Об'єкт досліджень – неоднорідні карбонатні колектори.

Предмет дослідження – технологія кислотного гідророзриву пласта із застосуванням нафтокислотної емульсії з дистильованою водою, підданої електрохімічній обробці.

Наукова новизна:

1. Проаналізовано фактори, що впливають на ефективність проведення гідравлічного розриву пласта;

2. Встановлено та описано теоретичні положення технології кислотного гідравлічного розриву пласта із застосуванням нафтокислотної емульсії з дистильованою водою, підданої електрохімічній обробці з метою досягнення максимального коефіцієнта нафтовидобування.

3. Надано рекомендації по впровадженню технології кислотного гідравлічного розриву пласта для випробування в промислових умовах.

Апробація роботи: роботу було представлено на засіданні Круглого столу «Основні тенденції розвитку нафтогазової галузі – 2024» у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОВЕДЕННЯ КИСЛОТНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРИВУ ПЛАСТА

1.1 Сучасні технології кислотного ГРП

Кислотний гідророзрив пласта (рис. 1.1) є одним з ефективних методів стимулювання видобутку нафти і газу, зокрема в низькопроникних і карбонатних колекторах. Сучасні технології кислотного ГРП постійно вдосконалюються для підвищення ефективності процесу, мінімізації екологічних ризиків та зниження витрат. Нижче описані основні аспекти, інноваційні підходи та сучасні технології кислотного ГРП.

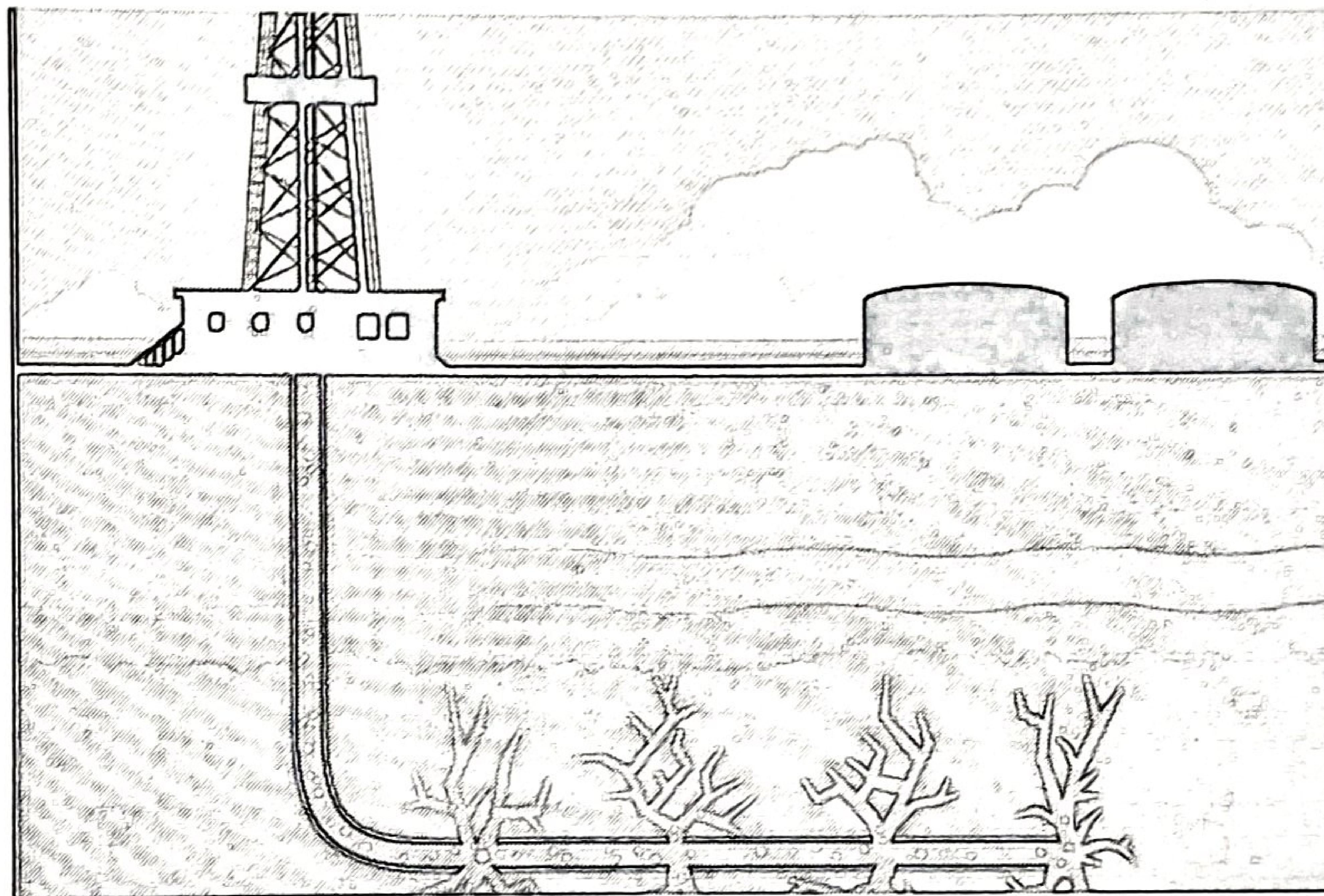


Рис. 1.1 – Загальний вигляд технології гідророзриву пласта.

Кислотний гідророзрив пласта (ГРП) полягає в закачуванні кислоти в колектор під високим тиском для створення або збільшення тріщин в пласті з подальшим розширенням і підтримкою відкритого каналу для руху вуглеводнів. Застосовують переважно соляну кислоту (HCl), що розчиняє карбонатні мінерали, такі як вапняк або доломіт. Головна мета – створення високопроникних каналів у пласті для покращення припливу вуглеводнів.

Однією з сучасних інновацій є поєднання методів кислотного і класичного гідророзриву. Це дозволяє створювати більш ефективну мережу тріщин в карбонатних пластах. Гібридний підхід передбачає, що спочатку

застосовується звичайний гідророзрив для механічного руйнування пласта і формування тріщин, а потім кислота вводиться для розчинення і збільшення об'єму тріщин. Такий підхід дозволяє значно збільшити продуктивність свердловин.

Реологічно модифіковані кислоти, що мають вищу в'язкість, є ще одним важливим напрямом розвитку технологій кислотного ГРП. Такі кислоти краще проникають у тріщини, що дозволяє рівномірніше розподіляти кислоту по пласту і покращувати результативність стимуляції. Ці кислоти також знижують імовірність утворення так званих "фінгерингів", коли кислота прямує по найменшому опору і не охоплює рівномірно весь пласт.

Гелеві кислоти мають густу структуру і дозволяють краще контролювати проникнення у глибину тріщин. Вони мають переваги у випадках, коли необхідно мінімізувати контакти кислоти з поверхнею пласта, що запобігає небажаному руйнуванню породи на поверхні. Гелеві кислоти також можуть бути корисними при роботі з негомогенними колекторами, де звичайні кислоти розподіляються нерівномірно.

Захист обладнання та труб від корозії є важливою складовою кислотного ГРП. Для цього застосовуються інгібітори корозії, що додаються в кислоту для мінімізації її агресивного впливу на металеві поверхні. Інші хімічні добавки можуть контролювати швидкість розчинення карбонатів, що дозволяє краще керувати процесом створення тріщин.

Важливим викликом при проведенні кислотного ГРП є запобігання осіданню твердих часток, що можуть перешкоджати ефективній роботі. Для цього використовують спеціальні добавки, які запобігають осіданню та забезпечують чистоту каналу тріщини. Часто для цього використовують хімічні агенти, що стабілізують суспензії та полегшують їх видалення.

Кислотний ГРП включає кілька основних етапів:

1. Підготовка свердловини: Очищення свердловини, перевірка герметичності обладнання, встановлення обладнання для закачування.

2. Закачування кислоти: Виконується під високим тиском, щоб створити або збільшити тріщини в колекторі.

3. Контроль процесу руйнування пласта: Застосування гелевих кислот або інших технологій для точного контролю процесу розчинення.

4. Завершення робіт: Після того, як кислота закачана і виконана стимуляція, свердловина очищається і запускається в експлуатацію.

5. Оцінка ефективності кислотного ГРП

Ефективність кислотного ГРП оцінюється за кількома ключовими показниками:

- Збільшення припливу: Основний індикатор успішності ГРП – збільшення видобутку нафти або газу зі свердловини.

- Тривалість ефекту: Якісний кислотний ГРП забезпечує довгострокове збільшення припливу, мінімізуючи необхідність частих повторних стимуляцій.

- Економічна вигода: Важливо, щоб витрати на проведення ГРП були виправдані отриманими результатами. Інноваційні технології дозволяють знизити витрати на матеріали та скоротити час проведення операцій.

Сучасні технології кислотного ГРП також спрямовані на мінімізацію екологічного впливу. Зменшення використання шкідливих хімічних речовин, розробка біорозкладних інгібіторів корозії та стабілізаторів суспензій є важливими напрямками розвитку. Крім того, удосконалення методів утилізації відпрацьованих рідин і технологій зменшення ризику забруднення підземних вод є ключовими викликами для галузі.

Сучасний розвиток технологій кислотного ГРП, зокрема впровадження гелевих і реологічно модифікованих кислот, інгібіторів корозії та інших хімічних добавок, дає змогу підвищити ефективність видобутку вуглеводнів у складних колекторах, одночасно зменшуючи негативний вплив на навколишнє середовище.

1.2 Досвід застосування технології в карбонатних колекторах

Карбонатні колектори є одними з найпоширеніших у світі геологічних утворень, багатих на нафту і газ. Вони становлять приблизно 60% відомих запасів нафти і газу у світі. Проте ці колектори часто характеризуються низькою проникністю, що значно ускладнює видобуток вуглеводнів. Однією з найефективніших технологій стимулювання таких колекторів є кислотний гідророзрив пласта (ГРП), який застосовується для підвищення продуктивності свердловин шляхом створення або збільшення тріщин у пласті за допомогою закачування кислоти.

У цьому розділі ми розглянемо досвід застосування технології кислотного ГРП в карбонатних колекторах, включаючи приклади з різних регіонів світу, інноваційні підходи, які використовуються для покращення ефективності цієї технології, а також основні виклики та їх подолання.

Карбонатні колектори складаються здебільшого з вапняку, доломіту та інших карбонатних порід. Основними проблемами при розробці таких родовищ є:

- Низька природна проникність: Більшість карбонатних порід має низьку матричну проникність, що ускладнює природний рух нафти і газу до свердловин.
- Гетерогенність: Карбонатні колектори часто мають різноманітну структуру порід, з тріщинами і кавернами різних розмірів, що впливає на нерівномірний рух рідин у пласті.
- Тенденція до утворення високих зон з низьким тиском: Через неоднорідність пласта тиск у колекторі може розподілятися нерівномірно, що призводить до утворення високих зон з низьким припливом.

Для вирішення цих проблем широко застосовується технологія кислотного ГРП, яка дозволяє створити нові або розширити існуючі канали в породі шляхом розчинення карбонатних мінералів кислотою. Це значно

підвищує проникність і забезпечує більш ефективний приплив нафти і газу до свердловини.

Процес кислотного ГРП у карбонатних колекторах складається з кількох основних етапів:

1. Підготовка свердловини: Включає очищення свердловини, перевірку обладнання і встановлення закачувальних систем.

2. Підбір кислоти: Найчастіше використовують соляну кислоту (HCl), яка ефективно розчиняє карбонатні породи. Для глибших пластів або для кращого контролю процесу часто використовують суміші кислот або гелеві кислоти.

3. Ін'єкція кислоти: Під високим тиском кислоту закачують у свердловину для створення або збільшення тріщин у пласті. Тріщини збільшуються через розчинення карбонатів, створюючи канали для руху нафти і газу.

4. Завершення та очищення свердловини: Після завершення процесу розриву кислоту вимивають, і свердловина очищається від залишків рідин.

Досвід застосування кислотного ГРП у світі:

Близький Схід (Родовище Гавар, Саудівська Аравія)

Одним з найбільших родовищ у світі є родовище Гавар у Саудівській Аравії (Малюнок 1.2 Буріння свердловин в Саудівській Аравії), яке характеризується величезними запасами нафти в карбонатних колекторах. Через тривалу експлуатацію родовища виникає потреба в стимуляції пласта для підтримки видобутку на високому рівні. Для цього активно застосовується технологія кислотного ГРП.

У випадку родовища Гавар застосовують переважно соляну кислоту з додаванням інгібіторів корозії та стабілізаторів для запобігання пошкодженню обладнання. Кислотний ГРП допомагає розширювати тріщини і збільшувати проникність пласта, що забезпечує стабільний приплив нафти. За допомогою сучасних методів кислотного ГРП вдалося продовжити ефективний видобуток з родовища на десятиліття.

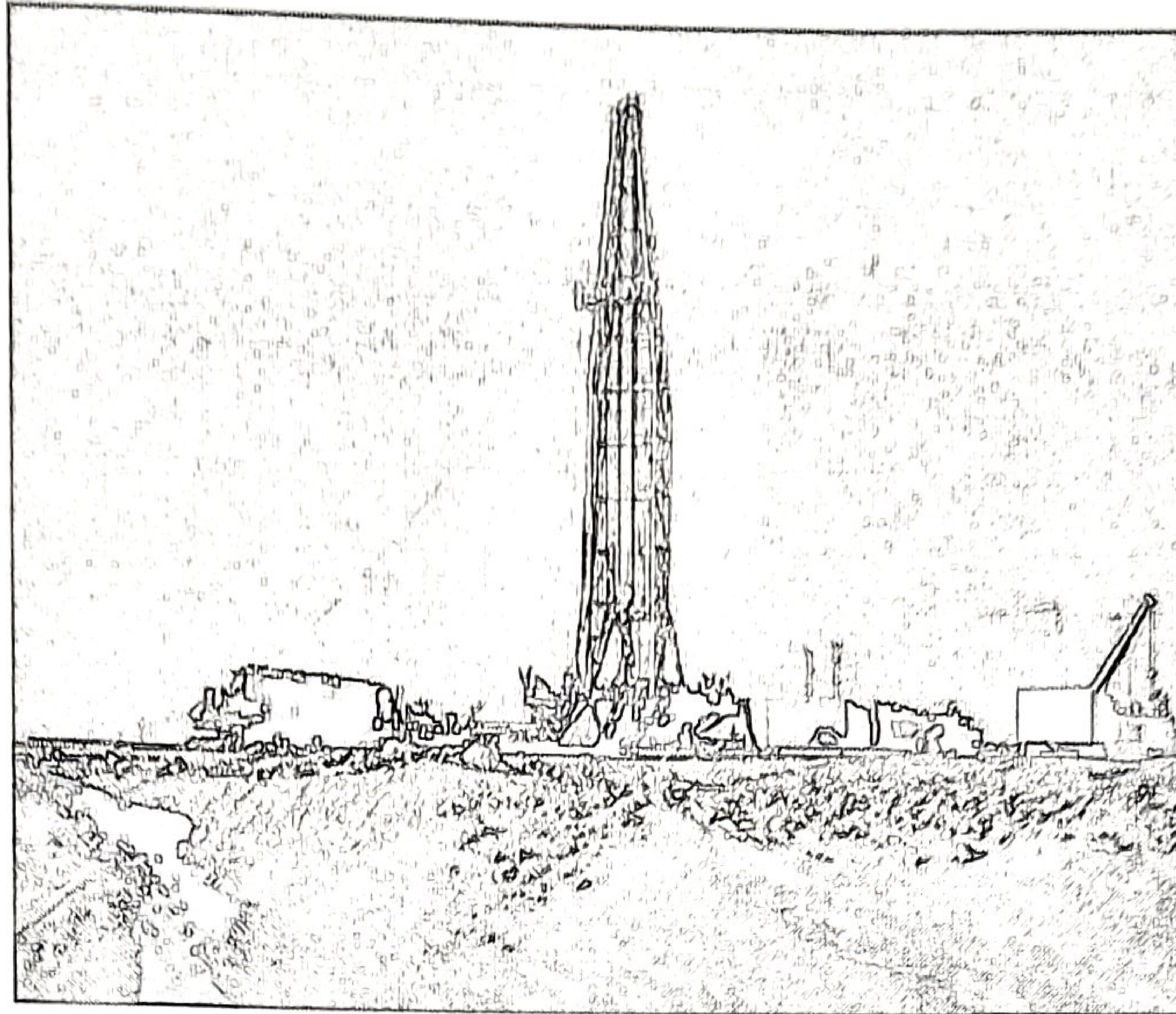


Рис. 1.2 – буріння свердловин в Саудівській Аравії
США (Перміанський басейн)

У Сполучених Штатах технологія кислотного ГРП широко застосовується в Перміанському басейні, який є одним з найбільших регіонів видобутку нафти і газу з карбонатних колекторів. Застосування кислотного ГРП в цьому регіоні дозволяє значно підвищити видобуток нафти з глибоких і низькопроникних пластів. Однією з ключових інновацій у цьому регіоні стало використання гелевих кислот, які допомагають краще контролювати процес розчинення і забезпечувати більш рівномірне проникнення кислоти в пласт.

1.3. Ускладнення при впровадженні технології на свердловинах

Одним з основних ризиків при застосуванні кислотного ГРП є корозія (рис.1.3) бурового та експлуатаційного обладнання. Кислоти, що використовуються під час стимулювання пласта, особливо соляна кислота (HCl), є дуже агресивними і можуть швидко викликати корозію металевих поверхонь труб, насосів та інших свердловинних інструментів. Це може призвести до пошкодження обладнання, втрати герметичності свердловини і навіть аварій.

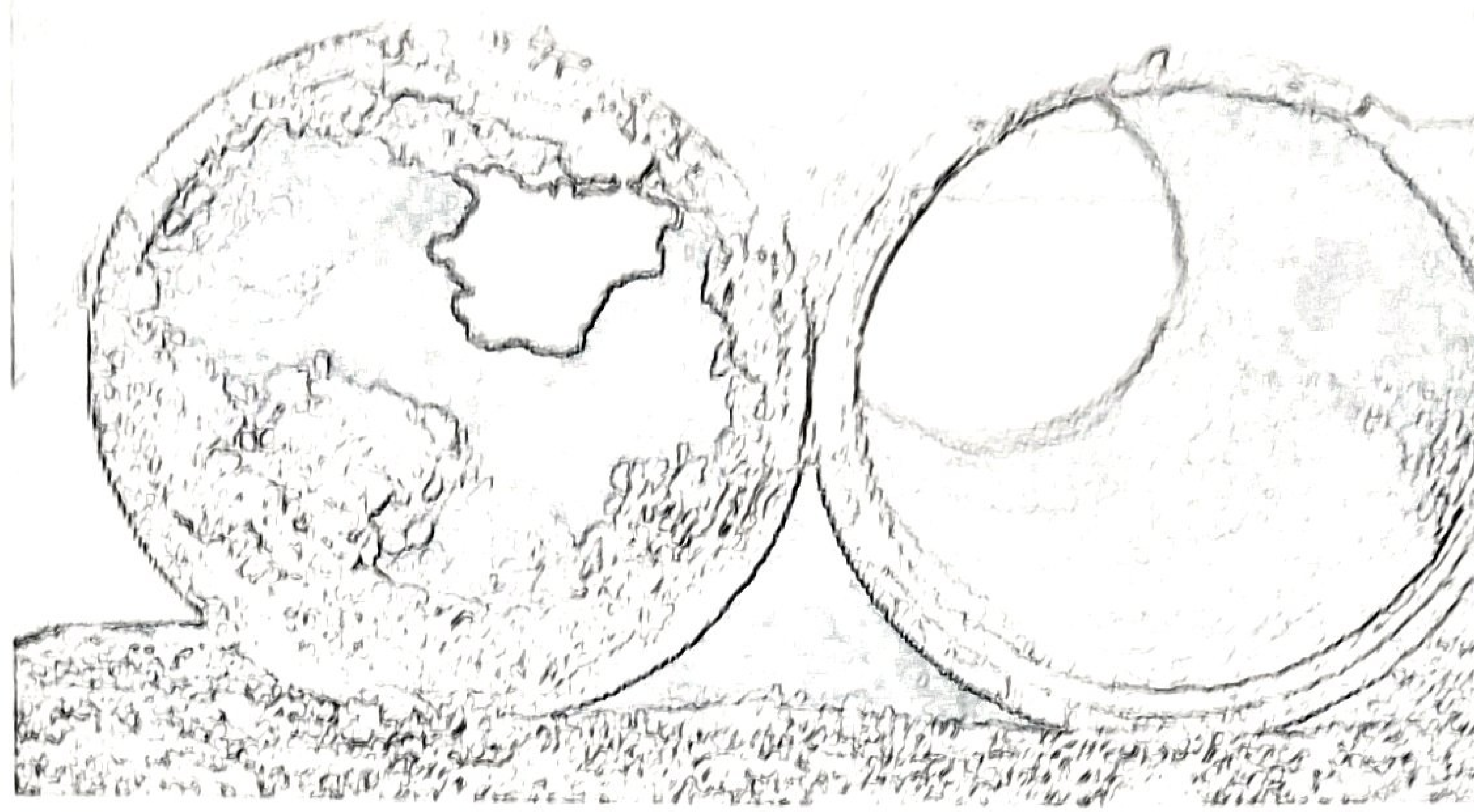


Рис. 1.3 – Загальний вигляд корозії труб НКТ

Причини корозії:

- *Висока концентрація кислот:* Стандартні суміші кислоти для ГРП містять до 15% HCl, що може швидко роз'їдати метал.
- *Тривалий контакт з обладнанням:* Кислота може залишатися в контакті з обладнанням протягом тривалого часу, особливо якщо виникають затримки у виконанні операцій.
- *Невірний вибір матеріалів:* Використання матеріалів, що не відповідають вимогам до корозійної стійкості, може призвести до передчасного пошкодження обладнання.

Під час проведення кислотного ГРП нерівномірний розподіл кислоти в пласті є однією з найбільших проблем. Через неоднорідність колектора або наявність природних тріщин, кислота може концентруватися у певних зонах, залишаючи інші частини пласта необробленими. Це може призвести до недостатньої стимуляції свердловини, що, своєю чергою, знижує її продуктивність.

Причини нерівномірного розподілу:

- *Гетерогенність колектора:* Карбонатні колектори мають нерівномірну пористість і проникність, що може спричинити утворення "кислотних каналів".
- *Природні тріщини:* У деяких випадках існуючі тріщини можуть поглинати більшість кислотної суміші, залишаючи інші частини колектора непроникними.

- *Невірний тиск закачування:* Якщо тиск закачування занадто високий або низький, це може призвести до передчасного розширення тріщин у певних зонах.

Під час проведення кислотного ГРП можливе виникнення закупорки тріщин та каналів через випадання солей або осадів, утворених внаслідок хімічних реакцій між кислотою і породою. Це може призвести до зниження проникності і погіршення припливу вуглеводнів до свердловини.

Причини закупорки:

- *Утворення осадів:* Кислота, реагуючи з карбонатними породами, може викликати випадання осадів (наприклад, карбонатів кальцію).
- *Невірний підбір кислот:* Якщо склад кислотної суміші не відповідає типу породи, це може призвести до утворення нерозчинних солей.
- *Невірний вибір води:* Вода, що використовується для змішування з кислотою, може містити домішки, які сприяють утворенню осаду.

Під час кислотного ГРП може виникнути ситуація, коли тріщини утворюються в непродуктивних зонах, що не сприяють покращенню продуктивності свердловини. Це може відбутися через недосконалий контроль процесу закачування або невірне прогнозування розподілу тисків у пласті.

Причини утворення тріщин у непродуктивних зонах:

- *Невірний вибір зони стимуляції:* Недостатній аналіз даних про геологічну структуру пласта може призвести до стимуляції непродуктивних зон.
- *Невірно визначений тиск розриву:* Підвищений тиск закачування може призвести до розширення тріщин у зонах із низьким вмістом вуглеводнів.

Утворення емульсій і забруднення продукції

Під час виконання кислотного ГРП можуть утворюватися емульсії, які ускладнюють відділення нафти від води і знижують якість видобутої продукції. Це є серйозним ускладненням, оскільки такі емульсії можуть негативно вплинути на роботу обладнання та викликати додаткові витрати на очищення нафти.

Причини утворення емульсій:

- *Змішування кислот з нафтою:* При контакті кислоти з нафтою може утворюватися емульсія, яку складно розділити.
- *Наявність домішок у кислоті:* Домішки у складі кислоти можуть сприяти утворенню стійких емульсій.

1.4 Недоліки існуючих технологій кислотного ГРП

1. Обмежений контроль за розширенням тріщин

Одним з найбільших недоліків існуючих технологій кислотного ГРП є обмежена контрольованість процесу розширення тріщин у пласті. Ця проблема виникає через складність передбачення траєкторії руху кислотної рідини та подальшого утворення тріщин. Особливо це стає критичним у неоднорідних пластах з різною пористістю та проникністю.

Коли кислота потрапляє у пласт, вона зазвичай спрямовується по шляхах найменшого опору, що призводить до нерівномірного розподілу кислотної дії по площі пласта. Це може призвести до того, що частина пласта залишиться не обробленою або слабо обробленою, тоді як в інших ділянках будуть утворюватися глибокі канали, що не забезпечують належної стимуляції всієї площі. Непередбачуваність цього процесу може призвести до недостатньої продуктивності свердловини або, в деяких випадках, до утворення тріщин у непродуктивних зонах, що не приносить жодної користі для видобутку вуглеводнів.

Нерівномірний розподіл тріщин також може негативно впливати на дебіт свердловини, оскільки стимуляція може відбуватися лише в окремих зонах, а інші ділянки залишаються недосяжними для впливу. Це особливо проблематично в складних геологічних умовах, де неоднорідність породи може бути значною. Зрештою, ця проблема веде до непередбачуваних результатів, коли навіть свердловини з подібними характеристиками можуть давати різні результати після проведення кислотного ГРП.

2. Корозійні процеси та пошкодження обладнання

Застосування кислотних розчинів під час гідророзриву призводить до значних проблем з корозією бурового обладнання і обсадних труб. Це особливо стосується сильних кислот, таких як соляна кислота (HCl), які можуть швидко руйнувати металеві компоненти свердловинного обладнання. Корозія є однією з найбільш серйозних проблем, оскільки вона знижує довговічність та надійність обладнання, що може призводити до збоїв у роботі свердловини або до непередбачених зупинок через аварійні ситуації.

Крім цього, кислотні розчини можуть проникати у міжтрубний простір і пошкоджувати цементний шар, який використовується для герметизації свердловини. Деградація цементної матриці під дією кислот може призвести до витоків нафти або газу в підземні водоносні горизонти, що не лише створює екологічні ризики, але й знижує ефективність видобутку. Пошкодження цементної матриці також може викликати утворення нових тріщин у непередбачених зонах, що ускладнює контроль за процесом стимуляції.

Зрештою, корозія є серйозною проблемою, яка вимагає регулярної заміни або ремонту обладнання, що значно збільшує витрати на експлуатацію свердловин. Крім того, тривала корозійна дія може призвести до повного виходу з ладу деяких частин свердловинного комплексу, що може стати причиною великих фінансових втрат.

3. Низька ефективність у низькопроникних колекторах

Кислотний ГРП вважається найбільш ефективним у карбонатних породах з відносно високою проникністю, оскільки кислота добре розчиняє карбонатну матрицю і створює канали для руху вуглеводнів. Проте у випадках низькопроникних колекторів, таких як щільні вапняки або доломіти, ефективність цієї технології значно знижується.

У низькопроникних колекторах кислотні розчини не здатні проникати на достатню глибину в пласт, оскільки породи є надто щільними і не дозволяють кислоті ефективно розчинити мінерали. Це призводить до того, що утворені тріщини мають обмежені розміри і не забезпечують достатнього розкриття пласта для покращення продуктивності свердловини. У таких

умовах навіть після проведення кислотного ГРП дебіт свердловини залишається низьким, а витрати на проведення процедури можуть не виправдатися.

Низька ефективність у таких колекторах обмежує можливості використання кислотного ГРП у багатьох нафтових та газових родовищах, де присутні щільні породи. Це створює необхідність пошуку інших методів стимуляції або комбінування кислотного ГРП з іншими технологіями, що збільшує загальну складність та вартість процесу.

4. Утворення осадів та закупорка пор

Кислотні розчини під час взаємодії з породами можуть утворювати осади, які забивають пори та знижують проникність пласта. Зокрема, це стосується реакцій кислоти з кальцієм, барієм або стронцієм, що можуть призводити до утворення нерозчинних сульфатів. Ці осади накопичуються в тріщинах або на поверхні порід, що ускладнює рух вуглеводнів до свердловини.

Утворення осадів є серйозною проблемою, оскільки закупорені тріщини можуть повністю втратити свою продуктивність, а це значно знижує ефективність стимуляції. Окрім цього, осади можуть також накопичуватися в обсадних трубах і на обладнанні для збору продукції, що створює додаткові технічні проблеми та витрати на їх очищення.

Ще однією проблемою є утворення емульсій, які можуть виникати під час взаємодії кислотних розчинів з нафтою. Такі емульсії є дуже стійкими і ускладнюють процеси очищення продукції після видобутку. Це підвищує витрати на підготовку нафти та газу до транспортування і може негативно впливати на загальну рентабельність видобутку.

5. Екологічні ризики

Використання кислотного ГРП супроводжується значними екологічними ризиками, оскільки застосовуються агресивні хімічні речовини, які можуть негативно впливати на навколишнє середовище. Одним з головних ризиків є можливість витоку кислотних розчинів у підземні водоносні

горизонти або на поверхню. Якщо під час проведення процедури виникають проблеми з герметичністю обсадної колони або цементного шару, це може призвести до забруднення підземних вод.

Також екологічною проблемою є утилізація відпрацьованих кислотних розчинів. Їх скидання у поверхневі водойми або ґрунт може спричинити забруднення довкілля і негативно вплинути на місцеву екосистему. Крім того, нафтопродукти, які витікають разом із кислотними розчинами, можуть спричиняти довготривалі наслідки для флори і фауни.

Екологічні ризики роблять процес кислотного ГРП одним з найконтрольованіших у нафтогазовій галузі, оскільки будь-яка аварія або витік хімічних речовин може мати значні наслідки для навколишнього середовища та місцевих громад.

1.5 Висновок за розділом 1

Вивчення сучасних технологій кислотного гідророзриву пласта (ГРП) показує, що цей метод є важливим інструментом у сфері видобутку вуглеводнів, особливо в карбонатних колекторах. Сучасні технології включають різноманітні хімічні склади, які дозволяють ефективно розчиняти карбонатні мінерали та покращувати проникність порід. Успішний досвід застосування кислотного ГРП в карбонатних колекторах підтверджує його здатність суттєво підвищувати продуктивність свердловин, проте успішність цього процесу значною мірою залежить від геологічних умов та специфіки кожного родовища.

Однак впровадження кислотного ГРП супроводжується низкою ускладнень, таких як контроль за розширенням тріщин, корозійні проблеми, зниження ефективності у низькопроникних колекторах та утворення осадів, що можуть закупорювати пори. Ці аспекти ускладнюють технологічний процес і підвищують ризики, пов'язані з безпекою та екологією.

Крім того, існуючі недоліки технологій кислотного ГРП, включаючи недостатню контрольованість, корозію обладнання та екологічні ризики, підкреслюють необхідність подальшого розвитку та вдосконалення методів стимуляції видобутку. Незважаючи на очевидні переваги, такі як підвищення дебіту свердловин, важливо враховувати всі можливі ризики та недоліки, щоб забезпечити ефективний і безпечний процес видобутку.

Таким чином, для підвищення ефективності кислотного ГРП в нафтогазовій промисловості важливо проводити додаткові дослідження, розробляти нові технології та впроваджувати екологічно чисті рішення, які можуть мінімізувати ризики та забезпечити сталий розвиток галузі.

РОЗДІЛ. 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ КИСЛОТНОГО ГРП В КАРБОНАТНИХ ПОРОДАХ- КОЛЕКТОРАХ

2.1. Загальна характеристика факторів, що впливають на ефективність проведення робіт

Ефективність будь-якого методу, що застосовується в процесі розробки родовищ вуглеводнів, залежить від багатьох факторів. Причому, чим складніший метод, тим більше факторів впливають на нього. ГРП – технічно та технологічно складний захід, у процесі виконання якого використовуються спеціалізовані агрегати робочих агентів. Тому ефективне застосування цієї технології передбачає науково-обґрунтований підхід до вибору свердловин та об'єктів обробки з урахуванням різноманіття факторів, що впливають на ГРП.

Проблема ефективного застосування ГРП та виявлення факторів, які на нього впливають завжди хвилювала дослідників.

Однією з перших досліджень з цієї проблеми є робота Б.Г. Логінова та В.А. Блажевича [3], де повідомляється, що ефект від ГРП залежить від геологічної будови продуктивного пласта та літологічних характеристик порід, режиму роботи родовища, пластового тиску, характеру, розміру та розташування тріщини та успішного закріплення її піском.

Р.Д. Канівська в роботі [2] до основних факторів, що визначають ефективність процесу ГРП, відносить вірний вибір свердловини та об'єкта для обробки, а також використання оптимальної технології ГРП для цих умов. При цьому повинні враховуватись такі характеристики об'єкта як:

- геологічна неоднорідність та розчленованість пласта,
- проникність пласта,
- наявність, товщина та витриманість літологічних екранів,
- глибина залягання та ефективна товщина пласта,
- запас пластової енергії та виробленість видобутих запасів.

Найбільш повно перелік факторів, що визначають ефективність процесу ГРП, наведений у роботі [4]. Цей список включає:

- фізико-літологічні характеристики пласта (тип колектора, рихлість і щільність порід, ступінь тріщинуватості та глинистості),
- геологічну неоднорідність пласта (коефіцієнти піщанистості та розчленованості),
- фізичні властивості пласта (коефіцієнти пористості та проникності),
- інформацію про наявність та близькість підшовних вод та газової шапки,
- товщину продуктивного пласта,
- величину пластового тиску,
- ступінь забруднення привибійної зони,
- ступінь обводненості продукції свердловини,
- тип, обсяг та якість робочих рідин,
- розміри, концентрацію та якість пропанта.

В.І. Некрасов та ін. [1] крім вищезгаданих факторів ефективність процесу ГРП пов'язують зі станом розробки, що передбачає врахування таких факторів як: близькість лінії нагнітання, водонафтовий фактор, стан виробленості запасів дільниці проведення ГРП тощо.

У численних наукових статтях, присвячених аналізу ефективності ГРП так чи інакше посилаються на вищевказані чинники.

Таким чином, на ефективність ГРП впливає ціла низка факторів, узагальнюючи їх можна розділити на геолого-фізичні фактори, фактори стану розробки (що характеризують об'єкт обробки, що не піддаються коригуванню) і технологічні (що характеризують параметри впливу, що піддаються коригуванню).

2.2 Дослідження впливу факторів на охоплення впливом при кислотному гідравлічному розриві пласта.

Розглянуто умови оптимального застосування технології ГРП у зонально-неоднорідному за проникністю пласті. При цьому розглядалися такі

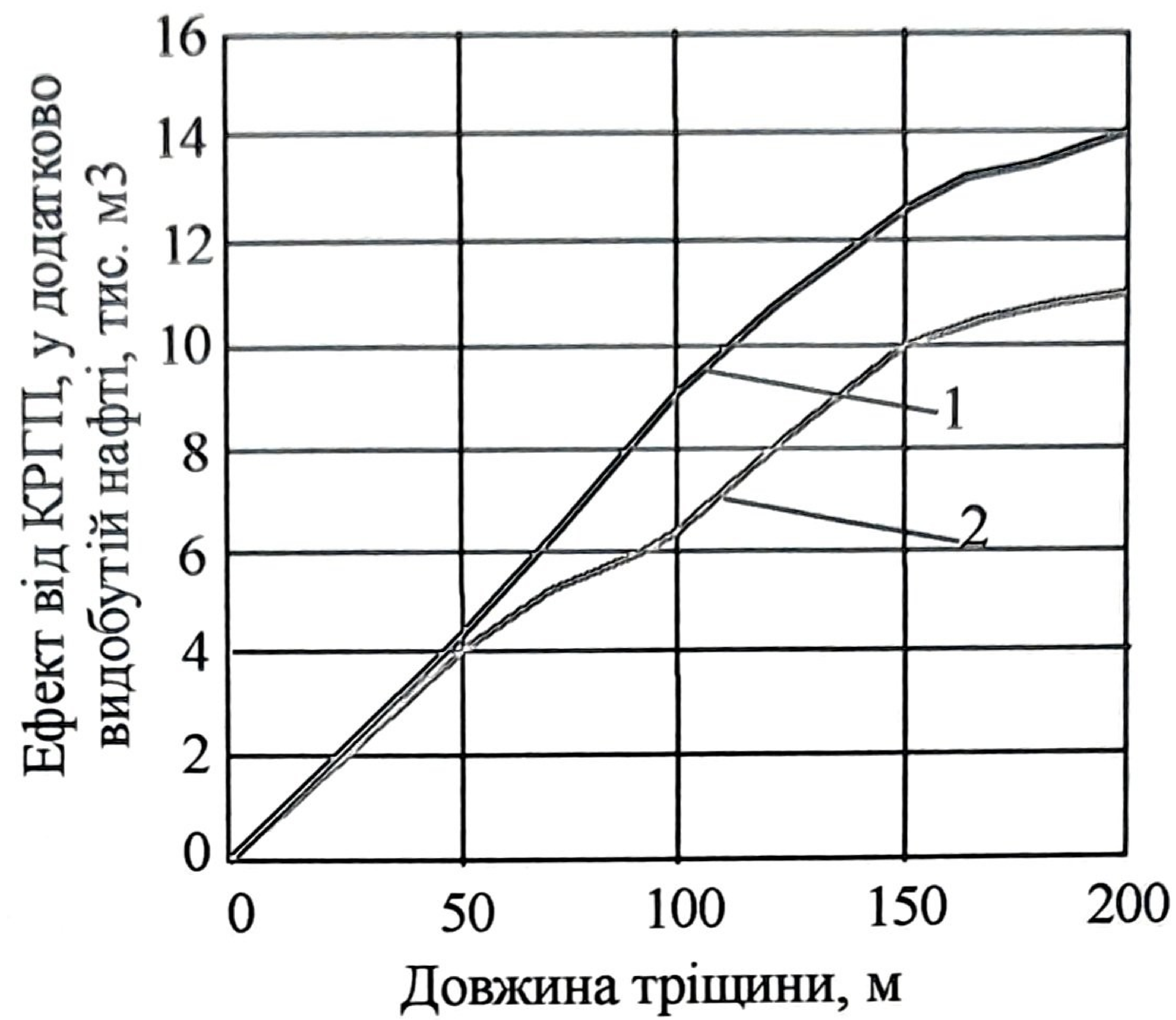
можливі випадки - низькопроникна зона розташовується в безпосередній близькості від низки свердловин нагнітальних і низькопроникна зона віддалена від нагнітальних свердловин (другий ряд). Досліджено вплив протяжності та орієнтації тріщин ГРП щодо рядів свердловин.

Розглядалися дві орієнтації тріщин - уздовж ряду видобувних свердловин, що («паралельно») і вздовж прямої, що з'єднує нагнітальний і видобувний ряд («перпендикулярно»). Результати розрахунків представлені на рис.2.1.

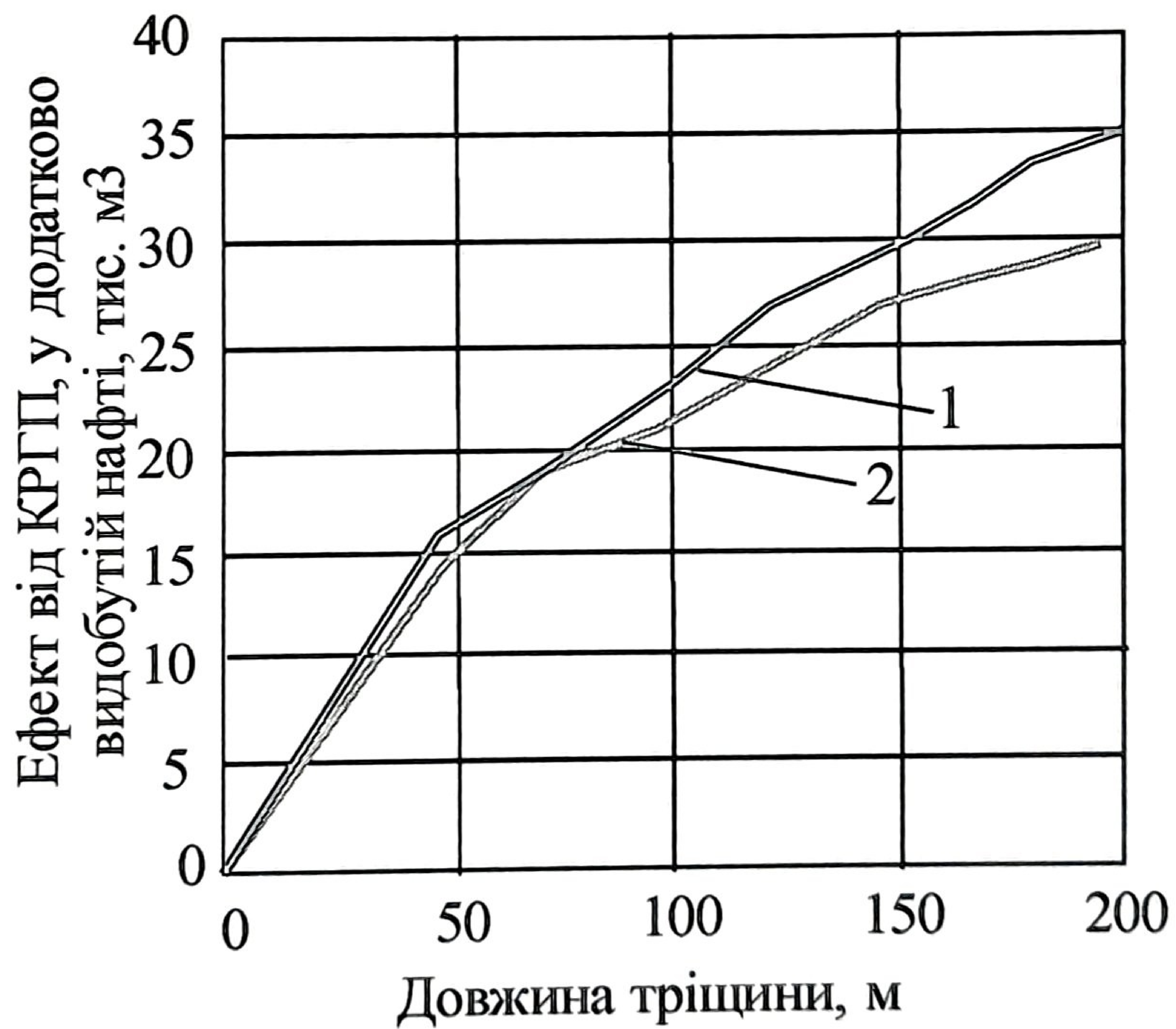
Застосування гідророзриву пласта впливає на ефективність вироблення запасів в цілому на родовищі. При цьому технологія ГРП виступає в якості технології інтенсифікації, та технології спрямованої на підвищення коефіцієнта охоплення впливом. В однорідному за проникністю пласті максимальний коефіцієнт нафтовилучення досягається при проведенні ГРП в області пласта не задіяній в розробці. У неоднорідному за проникністю пласті результати застосування ГРП залежать від того, де розташована низькопроникна зона. Якщо низькопроникна зона пласта розташована в безпосередній близькості від нагнітальних свердловин, то в цьому випадку максимальний коефіцієнт вилучення нафти досягається у випадку, коли тріщина ГРП має максимальну довжину і орієнтована вздовж прямої, що з'єднує нагнітальний ряд.

2.3. Вплив якості реагентів (нафтокислотної емульсії) на ефективність технології

Підвищення продуктивності свердловини у процесі гідророзриву пласта безпосередньо пов'язане з провідністю тріщини. Зазвичай для досягнення високої провідності тріщини застосовують пропанти. Для закріплення пропанта використовуються технологічні рідини з загусниками, які суттєво знижують проникність у закріпленій області тріщини. Застосування деструкторів викликає руйнування цих рідин.



а)



б)

а) WPRD4 (низькопроникна зона поблизу нагнітальних свердловин),
 б) WPRD2 (низькопроникна зона далеко від нагнітальних свердловин)
 Рис.2.1 - Залежність ефекту від проведення КГРП ділянки від довжини та орієнтації тріщини при проведенні ГРП на свердловині

Однак їх залишки все одно знижують проникність тріщини.

Відомі методи підвищення провідності тріщини шляхом керування її геометрією без застосування пропантів. Зазвичай для цього застосовується циклічне закачування рідини розриву з періодами зупинки. При закачуванні створюється тріщина, потім при зниженні тиску нею нижче тиску розриву шляхом зупинки закачування та закриття свердловини відбувається руйнування поверхні тріщини з утворенням уламків породи. При відновленні закачування уламки, що утворилися під час руйнування породи-колектора переміщуються з потоком вздовж тріщини. Після припинення закачування тріщина закріплюється уламками, що утворилися. При наступному циклі закачування на вістрі уламків зароджується і розвивається вже нова тріщина. Тому ефект гідророзриву досягається без застосування пропанта. Однак, поряд з утворенням нових тріщин, відбувається процес кольматування тріщин, що вже утворилися.

У промисловій практиці широко відомий спосіб кислотного гідравлічного розриву карбонатного пласта, що дозволяє формувати розвинену геометрію тріщини. Спосіб включає закачування в пласт кислотовмісної рідини, що є сумішшю соляної кислоти та полімерних компонентів. В результаті реакції соляної кислоти з породою площа поверхні тріщини значно

зростає. Після розриву пласта тріщина не заповнюється пропантом, так як після взаємодії із соляною кислотою, за рахунок неоднорідності хімічного складу породи пласта, поверхня тріщини має розвинену поверхню та замикається хаотично виступами, створюючи систему сполучених гідродинамічних каналів, через які йде фільтрація флюїду.

Полімерний компонент уповільнює реакцію соляної кислоти з карбонатною породою, що збільшує глибину проникнення кислоти, а також підвищує в'язкість кислотовмісної рідини розриву для підвищення ефективності подолання міцності породи на розрив. Недоліком даного способу є низький приріст продуктивності свердловини через кольматацію

та пасивацію поверхні тріщини полімерної складової рідини розриву в процесі розриву пласта.

Одним із перспективних шляхів удосконалення кислотного гідравлічного розриву пласта є застосування як кислотовмісних рідин розриву нафтокислотних емульсій.

Нафтокислотна емульсія є дисперсною системою, зовнішньою фазою якої є товарна нафта, а дисперсною фазою - водяний розчин соляної кислоти. При співвідношенні фаз від 40/60 до 60/40 нафтокислотні емульсії мають регульовані фізико-хімічні параметри у широкому діапазоні величин. Однак, збільшення в'язкості нафтокислотної емульсії вище 450 мПа·с при швидкості зсуву 5 с^{-1} досягається тільки шляхом введення до її складу різних хімічних речовин, реагентів, які колюматують тріщину.

Крім того, регулювання часу активності рідини розриву здійснюється шляхом зміни концентрації соляної кислоти у дисперсній фазі, що знижує реакційну здатність нафтокислотної емульсії до карбонатної породи і зменшує ефективну глибину проникнення пласта.

Сутність технології кислотного гідравлічного розриву пласта із застосуванням зворотних нафтокислотних емульсій (НКЕ) заснована на застосуванні двох складів рідин. Розрив пласта здійснюється безпосередньо за допомогою нафтокислотного емульсійного розчину. Подальше формування (розширення) тріщин у пласті здійснюється закачуванням СКМД (Система контролю та моніторингу видобутку). У розробці кислотного гідророзриву пласта не передбачено закачування твердих закріплювачів для тріщин. [5, 6].

До рідини розриву висуваються дві основні вимоги: вона повинна мати регульовану в широкому діапазоні в'язкість і низьку фільтратовіддачу. Але для кислотного розриву ця рідина має бути ще й реакційною по відношенню до породи продуктивного пласта.

Як рідина розриву застосовується нафтокислотна емульсія, що являє собою дрібнодисперсну систему, де в якості дисперсійного зовнішнього

середовища застосовується вуглеводнева рідина (дизпаливо, велика група легких вуглеводнів), а дисперсною, внутрішньою фазою виступає соляна кислота 20-24% концентрації. У цьому випадку нафта виконує функцію компонента, що включає природні ПАР-емульгатори.

Рідина розвитку тріщини виконує дві функції: забезпечує перебіг тріщини вглиб пласта і є чинним робочим агентом у реакції з породою пласта. Рідина для розвитку тріщин має бути з високим проникним потенціалом і повинна бути близькою зі ступенем активності при взаємодіях з карбонатними породами.

Відома технологія КГРП за цією методикою виконується з 1992 р. на відомих родовищах.

Технологія дозволяє у 3-4 рази збільшити радіус кислотного впливу на нафтонасичені інтервали пласта в порівнянні зі звичайною соляно-кислотою обробкою. Застосування рідин на вуглеводневій основі, безперечно, є основною перевагою даної технології КГРП [1].

Для виключення кольматації поверхні тріщини при розриві пласта та залишкового забруднення пласта після розриву був розроблений безреагентний метод регулювання в'язкості, часу активності та реакційної здатності нафтокислотної емульсії.

Збільшення в'язкості нафтокислотної рідини розриву отримували шляхом безконтактної обробки пластової води, до введення соляної кислоти, дистильованою водою, підданої електрохімічній обробці. Електрохімічну обробку дистильованої води проводили до досягнення та стабілізації максимального значення величини її окислювально-відновного потенціалу

рис. 2.3 представлені графіки зміни ефективної в'язкості нафтокислотної емульсії з безконтактно обробленою пластовою водою (1) та стандартної (2) нафтокислотної емульсії в залежності від вмісту внутрішньої дисперсної фази (водного розчину соляної кислоти) при швидкостях зсуву 500 с^{-1} та 5 с^{-1} .

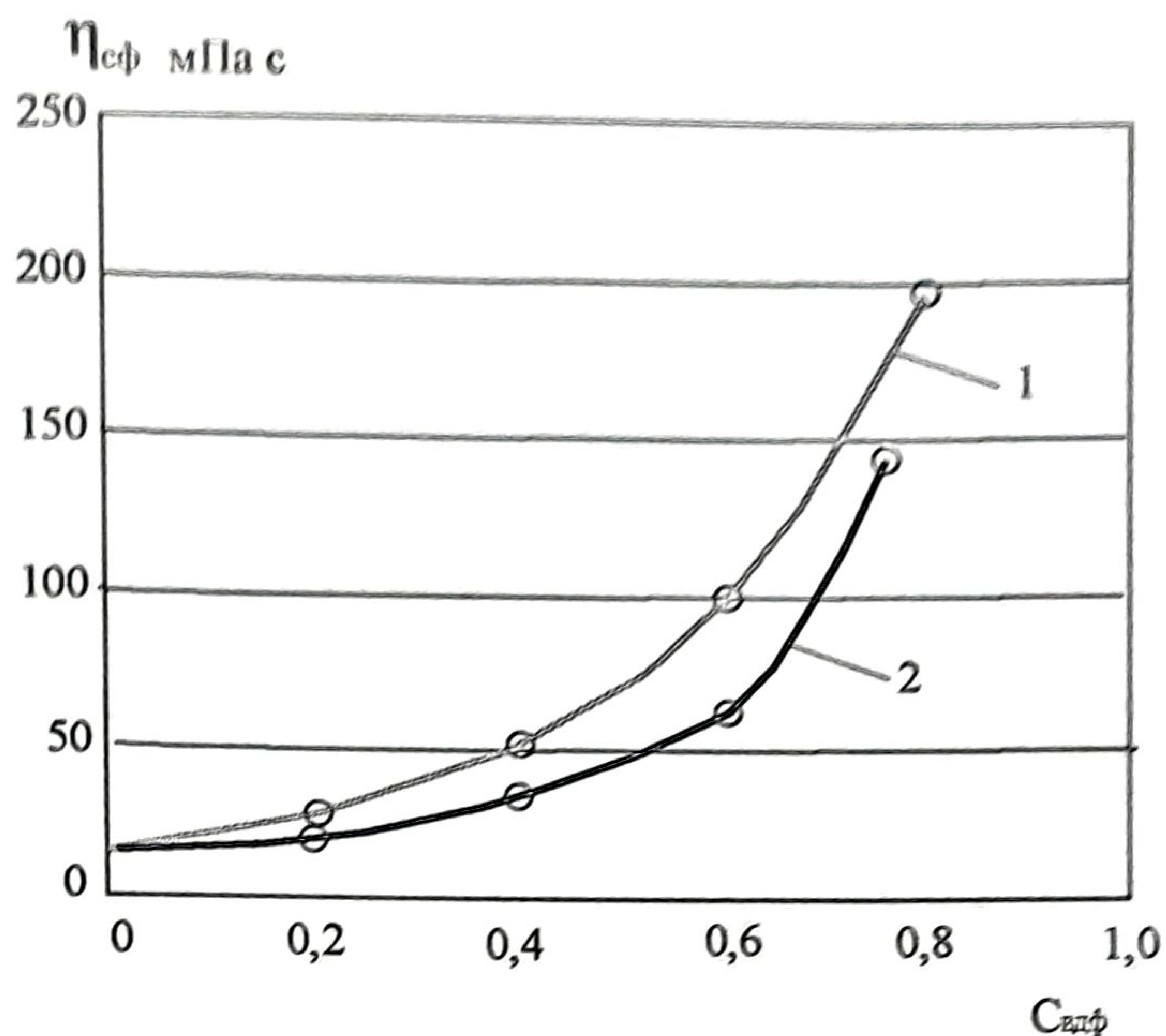


Рис.2.3 – Графіки зміни ефективної в'язкості нафтокислотних емульсій ($\eta_{\text{эф}}$) залежно від вмісту внутрішньої дисперсної фази $C_{\text{вдф}}$ 1- нафтокислотна емульсія з безконтактно обробленої пластової водою; 2-стандартна нафтокислотна емульсія. Швидкість зсуву = 500 с^{-1} .

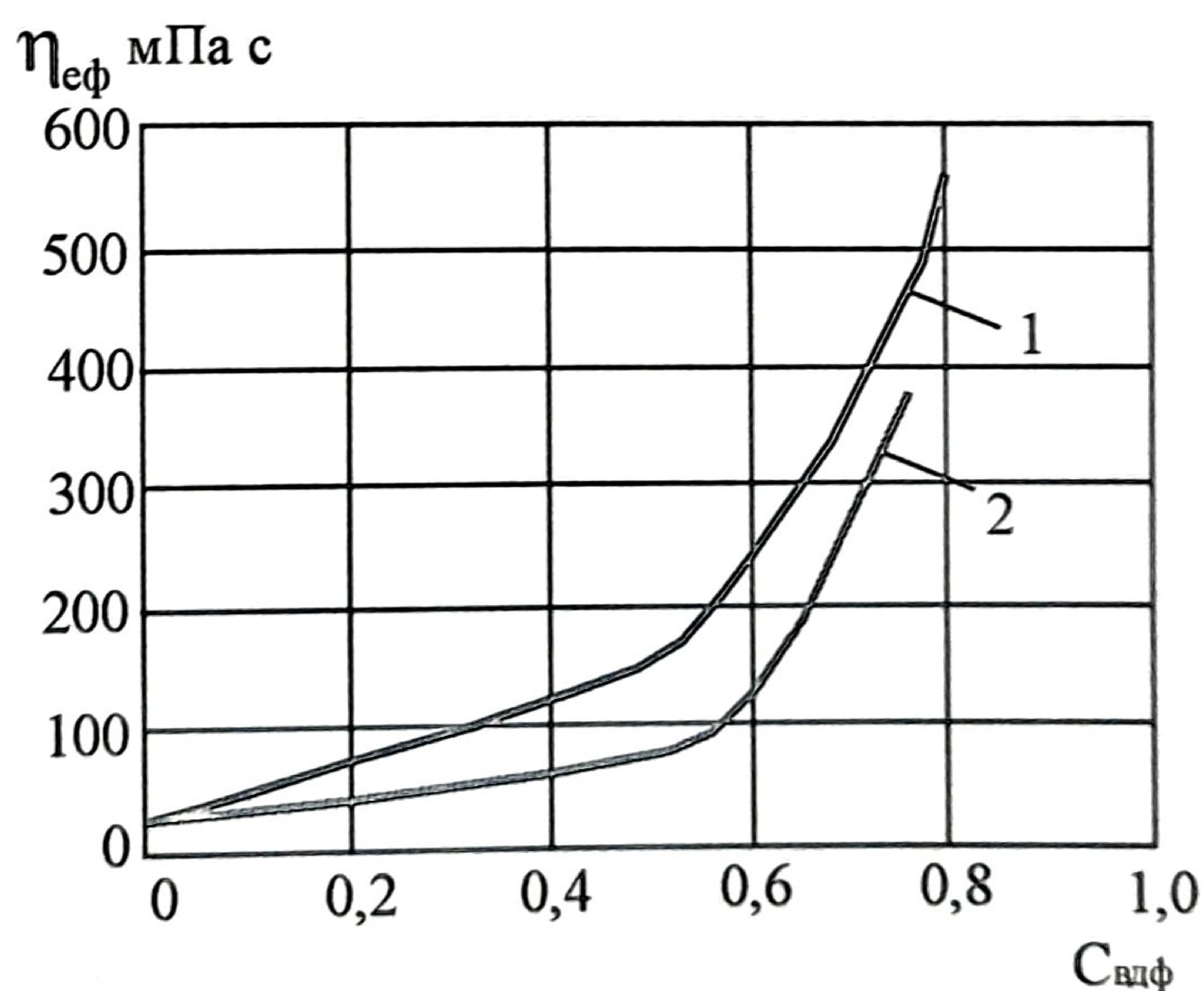


Рис.2.4 - Графіки зміни ефективної в'язкості нафтокислотних емульсій залежно від вмісту внутрішньої дисперсної фази: 1- нафтокислотна емульсія

з безконтактно обробленою пластовою водою; 2-стандартна нафтокислотна емульсія. Швидкість зсуву $\gamma = 5\text{с}^{-1}$.

На графіках (рис. 2.4) видно, що величина ефективної в'язкості нафтокислотної емульсії, приготовленої на безконтактно обробленій пластовій воді, перевищує величину в'язкості стандартної нафтокислотної емульсії.

З'являється можливість збільшення вмісту внутрішньої дисперсної фази до 0,8 об'ємних часток і, відповідно, концентрації соляної кислоти в емульсії.

2.4 Висновки до розділу 2

Ефективне застосування технології кислотного гідравлічного розриву пласта передбачає науково-обґрунтований підхід до вибору свердловин та об'єктів обробки з урахуванням різноманіття факторів, що впливають на ГРП.

Ефективність ГРП за вказаними площами знижується з зростанням проникності, що обумовлено випереджальною фільтрацією рідини розриву у поровий простір пласта.

Збільшення в'язкості нафтокислотної рідини розриву отримували шляхом безконтактної обробки пластової води, до введення соляної кислоти, дистильованою водою, підданої електрохімічній обробці. Величина ефективної в'язкості нафтокислотної емульсії, приготовленої на безконтактно обробленій пластовій воді, перевищує величину в'язкості стандартної нафтокислотної емульсії, чим збільшує ефективність обробки.

Технологія дозволяє у 3-4 рази збільшити радіус кислотного впливу на нафтонасичені інтервали пласта в порівнянні зі звичайною соляно-кислотою обробкою та ГРП.

Розрахуємо основні параметри при проведенні кислотного ГРП на свердловині №77 (В-21) Бугруватівського нафтового родовища.

1. Визначаємо вибійний тиск ГРП:

1.1 Гірничий тиск (вертикальна складова):

$$P_{\Gamma} = \rho_{\Pi} \cdot g \cdot H$$

$$P_{\Gamma} = 2500 \cdot 9,81 \cdot 3480 = 85,34 \text{ МПа} \quad (4.1)$$

Горизонтальна складова гірничого тиску :

$$P_{\Gamma\Gamma} = P_{\Gamma} \cdot \frac{V}{1-V} = 85,34 \cdot \frac{0,3}{1-0,3} = 36,58 \text{ Па}$$

де V – коефіцієнт Пуасона породи

1.2 Тиск розриву:

$$P_{\text{розр1}} = P_{\Gamma} - P_{\text{пл}} + G_{\text{р}}$$

$$P_{\text{розр1}} = 85,34 - 7,8 + 1,5 = 79,04 \text{ МПа} \quad (4.2)$$

1.3 Вибійний тиск ГРП:

$$P_{\text{грп}} = 1,75 \cdot 10^{(-2)} \cdot H \cdot 10^6$$

$$P_{\text{грп}} = 1,75 \cdot 10^{-2} \cdot 3480 \cdot 10^6 = 60,9 \text{ МПа} \quad (4.3)$$

1.4 Середній тиск розриву:

$$P_{\text{роз}} = \frac{P_{\text{грп}} + P_{\text{розр1}}}{2} = \frac{60,9 + 79,04}{2} = 82,2 \text{ МПа} \quad (4.4)$$

2. Розрахунок параметрів рідинопіщаної суміші.

Умовна в'язкість рідини-пісконосія:

$$\mu_{\text{рп}} = \mu_{\text{рр}} \cdot e^{(3,28 \cdot b)} \quad (4.5)$$

$$\mu_{\text{рп}} = 0,005 \cdot e^{(3,28 \cdot 0,057)} = 6,028 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

3. Визначення втрат тиску на тертя при русі суміші по НКТ.

$$V_{\text{см}} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} \quad (4.6)$$

3.1 Швидкість руху суміші:

$$V_{\text{см}} = \frac{4 \cdot 0,06}{3,14 \cdot 0,062^2} = 19,88 \text{ м/с}$$

3.2 Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{d \cdot V_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{рп}}}{\mu_{\text{рп}}} \quad (4.7)$$

$$Re = \frac{0.062 \cdot 19.88 \cdot 1180}{6.028 \cdot 10^{-3}} = 241277$$

Границі існування зони змішаного тертя ($\varepsilon = 0,05$ мм):

$$Re' = 10 \cdot d / \varepsilon = 10 \cdot 62 / 0,05 = 12400$$

$$Re'' = 500 \cdot d / \varepsilon = 500 \cdot 62 / 0,05 = 620000$$

3.3 Коефіцієнт гідравлічного опору:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\varepsilon}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,05}{62} + \frac{68}{241277} \right)^{0,25} = 0,0199 \quad (4.8)$$

Втрати тиску на тертя:

$$P_{тр} = \lambda \cdot \frac{H}{d} \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \rho_{рп} \quad (4.9)$$

$$P_{тр} = 0,019 \cdot \frac{3480 \cdot 19,88^2}{0,062 \cdot 2} = 21,07 \text{ МПа}$$

4. Тиск на гирлі при проведенні процесу:

$$P_{гир} = P_{розр} - \rho_{рп} \cdot g \cdot H + P_{тр} \quad (4.10)$$

$$P_{гир} = 79,04 \cdot 10^6 - 1180 \cdot 9,81 \cdot 3480 + 21,07 \cdot 10^6 = 59,83 \text{ МПа}$$

5. Допустимий тиск на гирлі:

- на зрушуюче зусилля

$$P_{гд1} = \frac{\frac{P_{зр}}{K} - G}{\frac{\pi}{4} \cdot D_d^2} \quad (4.11)$$

$$P_{гд1} = \frac{\frac{1070 \cdot 10^3}{1,5} - 65 \cdot 10^3}{\frac{3,14}{4} \cdot 0,122^2} = 55,46 \text{ МПа}$$

- на внутрішній тиск

$$P_{гд2} = \left[\frac{D_3^2 - D_d^2}{D_3^2 + D_B^2} \right] \cdot \left(\frac{\sigma}{K} \right) + P_{пл} + P_{тр} - \rho_{рп} \cdot g \cdot h \quad (4.12)$$

$$P_{гд2} = \left[\frac{0,146^2 - 0,122^2}{0,146^2 + 0,122^2} \right] \cdot \left(\frac{550 \cdot 1000}{1,5} \right) + 7,8 \cdot 10^6 + 28,8 \cdot 10^6 - 1180 \cdot 9,81 \cdot 3480 = 2,87 \text{ МПа}$$

6. Кількість насосних агрегатів. Приймаємо за розрахованим тиском розриву витрату агрегата $Q_{аг} = 0,0172 \text{ м}^3/\text{с}$

$$N = \left(P_{\text{гир}} \cdot \frac{Q}{P_{\text{аг}} \cdot Q_{\text{аг}} \cdot K_{\text{тс}}} \right) + 1$$

$$N = \left(50.51 \cdot \frac{0.06}{80 \cdot 0.0172 \cdot 0.75} \right) + 1 = 2.93$$
(4.13)

Приймаємо $N=3$

7. Розрахунок необхідної кількості робочих рідин з врахуванням поверхневих комунікацій:

7.1 Об'єм протискувальної рідини:

$$V_{\text{пр}} = 1,3 \cdot \left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot d^2 \cdot H$$
(4.14)

$$V_{\text{пр}} = 1,3 \cdot 0,785 \cdot 0,062^2 \cdot 3480 = 13,65 \text{ м}^3$$

7.2 Об'єм рідини пісконосія:

$$V_{\text{рп}} = \frac{M}{C}$$
(4.15)

$$V_{\text{рп}} = \frac{10 \cdot 10^3}{150} = 66,667 \text{ м}^3$$

7.3 Об'єм рідини розриву вибираємо, виходячи з об'єму свердловини:

$$V_{\text{р}} = 1,5 \cdot V_{\text{св}}$$
(4.16)

$$V_{\text{р}} = 1,5 \cdot 0,785 \cdot 0,122^2 \cdot 3480 = 60,99 \text{ м}^3$$

8. Робота агрегата:

8.1 Час закачки рідини-розриву:

$$t_{\text{р}} = V_{\text{р}} / Q$$
(4.17)

$$t_{\text{р}} = 60,99 / 0,06 = 1017 \text{ с} = 16,94 \text{ хв}$$

8.2 Час закачки рідини-пісконосія:

$$t_{\text{рп}} = \frac{V_{\text{рп}}}{Q}$$
(4.18)

$$t_{\text{рп}} = 66,67 / 0,06 = 1111,16 \text{ с} = 18,51 \text{ хв}$$

8.3 Час закачки протискувальної рідини:

$$t_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{пр}}}{Q}$$
(4.19)

$$t_{\text{пр}} = 13,65 / 0,06 = 227,5 \text{ с} = 3,79 \text{ хв}$$

8.4 Загальний час роботи агрегатів:

77

$$t = \frac{t_p + t_{рп} + t_{пр}}{3600}$$

$$t = \frac{1017 + 1111.16 + 227,5}{60} = 39,26 \text{ хв} \quad (4.20)$$

9. Оцінка ефективності процесу:

9.1 Радіус горизонтальної тріщини:

$$R_m = 0,0173 \cdot \left[Q \cdot \sqrt{\frac{\mu_{pp} \cdot t_p}{K_{пл}}} \right]^{0,5}$$

$$R_m = 0,0173 \left[0,06 \sqrt{\frac{0,05 \cdot 1321}{15 \cdot 10^{-15}}} \right]^{0,5} = 8,45 \text{ м} \quad (4.21)$$

Довжина вертикальної тріщини :

$$l = \sqrt{q_o \mu_p \cdot 10^{-3} \cdot \frac{V_{нн} + V_{пр}}{2 \cdot \pi \cdot h^2 \cdot \mu_{пл} \cdot k_{пл} \cdot 10^{-12} \cdot P_{z.z} \cdot 10^6}} \quad (4.22)$$

$$l = \sqrt{0,06 \cdot 6,028 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{66,67 + 13,65}{2 \cdot 3,14 \cdot 17^2 \cdot 0,14 \cdot 15 \cdot 10^{-14} \cdot 36,58 \cdot 10^6}} = 45,7 \text{ м}$$

9.2 Розкритість тріщини на стінці свердловини приймаємо: $\omega = 0,001 \text{ м}$

9.3 Проникність горизонтальної тріщини:

$$K_T = \frac{\omega^2}{12} \quad (4.23)$$

$$K_T = \frac{0,001^2}{12} = 8,333 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$$

9.4 Проникність ПЗП після проведення ГРП:

$$K_{пз} = \frac{K_{пл} \cdot h + K_T \cdot \omega}{h + \omega} \quad (4.24)$$

$$K_{пзп} = \frac{15 \cdot 10^{-14} \cdot 17 + 8,333 \cdot 10^{-8} \cdot 0,001}{17 + 0,001} = 5,21 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$$

9.5 Проникність дренажної системи після проведення ГРП:

$$K_{дс} = \frac{\left[K_{пл} \cdot K_{пз} \cdot \log\left(\frac{R_k}{r_c}\right) \right]}{K_{пз} \cdot \log\left(\frac{R_k}{R_T}\right) + K_{пл} \cdot \log\left(\frac{R_T}{r_c}\right)}$$

(4.25)

$$K_{дс} = \frac{\left[15 \cdot 5,21 \cdot 10^{-26} \cdot \log\left(\frac{250}{0,05}\right) \right]}{5,21 \cdot 10^{-12} \cdot \log\left(\frac{250}{8,45}\right) + 15 \cdot 10^{-14} \cdot \log\left(\frac{8,45}{0,05}\right)} = 6,43 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2$$

Визначаємо очікуваний ефект від ГРП:

$$E_{грп} = \frac{K_{дс}}{K_{пл}} = \frac{6,43 \cdot 10^{-13}}{15 \cdot 10^{-14}} = 4,28$$

4.3. Висновок до розділу 4

На аналогічному нафтовому родовищі середній додатковий видобуток нафти при проведенні КГРП перевищує додатковий видобуток під час застосування солянокислотних обробок та досягає величини 2915 т на одну свердловинну операцію. Результат був отриманий за рахунок збільшення продуктивності свердловин у 3 рази та тривалості ефекту до 2,2 року.

При заданому значенні часу активності реакційна здатність нафтокислотної емульсії може бути збільшена в 3 - 45 разів, що дозволяє збільшити ефективну глибину проникнення пласта.

Очікуваний ефект від кислотного гідравлічного розриву пласта на свердловині №77 на Бугруватівському родовищі складе збільшення видобутку у 4,28 рази у перший рік експлуатації.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОЕКТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

В даному проекті було запроєктовано кислотний гідравлічний розрив пласта для свердловини № 77 Бугруватівського нафтового родовища.

Гідравлічний розрив пласта призначений для розширення профілю приймальності. В результаті цього збільшується проникність пласта, зростає ефективність процесу.

5.1. Визначення додаткового видобутку нафти

Вихідні дані для проведення розрахунку економічної ефективності гідравлічного розриву пласта наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності при проведенні ГРП на свердловині № Бугруватівського нафтового родовища.

| Найменування показника | Одиниця виміру | Значення показника |
|---|----------------|--------------------|
| 1. Собівартість видобутку 1 т нафти | грн. | 41000 |
| 2. Ціна 1 т нафти станом на 2023 р – 1225дол. | грн. | 49000 |
| 3. Дебіт свердловини до проведення ГРП | т / добу | 1,38 |
| 4. Дебіт свердловини після проведення ГРП | т / добу | 5,90 |

Допущення 1. Ціни для розрахунків в розділі 5 задані керівником магістерської роботи проекту і є умовними.

Допущення 2. Змінні витрати встановлюються із розшифрованих статей калькуляції в розрахунку на додатковий видобуток нафти.

До змінних витрат відносяться затрати на електроенергію (плата за використану електроенергію), витрати на перекачку нафти, відрахування на геолого пошукові роботи.

Додатковий видобуток нафти після проведення робіт на свердловині визначаємо за формулою:

$$\Delta Q_{\text{грп}} = Q'_{\text{грп}} - Q \quad (5.1)$$

де $Q'_{\text{грп}}$ – видобуток нафти після проведення ГРП, т;

Q – видобуток нафти до проведення ГРП, т.

$$Q'_{\text{грп}} = Q \cdot 365 \cdot k,$$

$$Q = q \cdot 365 \cdot k,$$

де k – коефіцієнт, що враховує характер свердловини (для нафтової свердловини $k=0,5$);

q – дебіт свердловини до проведення ГРП;

$$Q = 1,38 \cdot 365 \cdot 0,5 = 215,85 \text{ (т / рік);}$$

$$= 5,9 \cdot 365 \cdot 0,5 = 1076,75 \text{ (т / рік);}$$

$$\Delta Q_{\text{грп}} = 1076,75 - 215,85 = 860,9 \text{ (т/рік)}$$

5.2. Розрахунок витрат на здійснення запроєктованого рішення і калькуляції собівартості видобутку нафти

Витрати на проведення робіт розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{грп}} = B_{\text{м}} + B_{\text{т}} + B_{\text{р}} \quad (5.2)$$

де $B_{\text{м}}$ – витрати на придбання матеріалів, необхідних для проведення ГРП, грн.;

V_T – витрати на експлуатацію техніки та транспорту, грн.;

V_p – витрати на оплату праці робітників, грн.

Витрати на придбання матеріалів, необхідних для проведення ГРП, визначаємо за формулою:

$$V_M = k_{н.п.} \times k_{тр.} \times \sum_{i=1}^n C_{mi} \times V_{pi} \quad (5.3)$$

де $k_{н.п.}$ – коефіцієнт, що враховує накладні витрати за всіма видами витрат, окрім заробітної плати;

$$k_{н.п.} = 1 + \frac{H_{н.п.}}{100} \quad (5.4)$$

$H_{н.п.}$ – норма накладних витрат за всіма видами витрат, крім заробітної плати (складає 10%).

C_{mi} – ціна 1 м³ (1 т) реагенту (матеріалу), грн.;

V_{pi} – об'єм (маса) реагенту (матеріалу), м³ (т);

n – кількість видів матеріалів та реагентів для проведення процесу;

$k_{тр.}$ – коефіцієнт, що враховує транспортні витрати, приймаємо $k_{тр.} = 1,155$.

Згідно розрахунків кількість використовуваних матеріалів на проведення ГРП складає:

| | |
|---|--------|
| – ПАР, м ³ | 0,01; |
| – Рідина пісконосій, м ³ | 66,66; |
| – Рідина розриву, м ³ | 60,99; |
| – Протискувальна рідина, м ³ | 13,65; |
| – Пакер ПВМ 138-70, шт. | 1 |

Вартість використовуваних матеріалів складає:

| | |
|--|--------|
| - ПАР, грн. / м ³ | 5460; |
| - Рідина пісконосій, грн. / м ³ | 2500; |
| - Рідина розриву, грн. / м ³ | 1000; |
| - Притискувальна рідина, грн. / м ³ | 900; |
| - Пакер ПВМ 138-70, грн. / шт. | 105000 |

Розмір витрат на придбання матеріалів, необхідних для проведення ГРП,

вираховується за формулою:

$$V_{\text{мат}} = 1,1 \times 1,155(0,01 \times 5460 + 66,66 \times 2500 + 60,99 \times 1000 + 13,65 \times 900 + 105000) = 438297 \text{ грн}$$

Витрати на експлуатацію техніки та транспорту визначаються за

формулою:

$$V_{\text{т}} = k_{\text{н.в.}} \sum_{i=1}^T (2l \times V_{li} + t \times V_{ti}) \quad (5.5)$$

де l – відстань від машинного парку до свердловини, км;

V_{li} – вартість перебазування одиниці техніки, грн. / км;

t – час проведення операцій ГРП, год.;

V_{ti} – вартість 1 години роботи агрегату, грн.;

m – кількість агрегатів та машин.

$k_{\text{н.в.}}$ – коефіцієнт, що враховує накладні витрати за всіма видами витрат,

окрім заробітної плати, $k_{\text{н.в.}} = 1,1$.

Визначення розміру витрат на експлуатацію техніки та транспорту

виконуємо у таблиці 5.2.

$$V_{\text{т_грп}} = 1,1 \times 12207,4 = 13428,14 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.2. – Розрахунок витрат на експлуатацію техніки та транспорту, необхідних для проведення ГРП

| Найменування техніки | Кількість застосованих одиниць | Відстань до свердловини | Вартість перебезування одиниці техніки, грн. / км | Всього витрат на перебезування техніки, грн. | Час проведення операції ГРП, год. | Вартість 1 год. роботи установки, грн. | Всього вартість роботи техніки, грн. | Всього витрат |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|---|--|-----------------------------------|--|--------------------------------------|---------------|
| Піскозмішувальний агрегат УСП-50 | 1 | 70 | 5,36 | 5,36 x 70 x 1 = 375,2 | 0,66 | 390 | 0,66 x 390 x 1 = 257,4 | 632,6 |
| Насосний агрегат УНП-630*700А | 5 | 70 | 4,5 | 4,5 x 70 x 5 = 1575 | 0,66 | 190 | 0,66 x 190 x 5 = 627 | 2202 |
| Автоцистерна ЦР-10 | 2 | 70 | 4,46 | 4,46 x 70 x 2 = 624 | 0,66 | 120 | 0,66 x 120 x 2 = 158,4 | 782,4 |
| Автокран (Краз 250 КС 4574) | 1 | 70 | 3,9 | 3,9 x 70 x 1 = 273 | 3 | 670 | 3 x 670 x 1 = 2010 | 2283 |
| Трактор К-700 | 4 | 70 | 3,2 | 3,2 x 70 x 4 = 896 | 2 | 500 | 2 x 500 x 4 = 3000 | 3896 |
| Трубовоз | 2 | 70 | 5,5 | 5,5 x 70 x 2 = 770 | 3 | 180 | 3 x 180 x 2 = 1080 | 1850 |
| Станція контролю і управління | 1 | 70 | 6,7 | 6,7 x 70 x 1 = 469 | 0,66 | 140 | 0,66 x 140 x 1 = 92,4 | 561,4 |
| Всього | 16 | | | 4982,2 | | | | 12207,4 |

Витрати на оплату праці робочого і технічного персоналу для проведення однієї операції:

$$V_p = \lambda \times \sum_{i=1}^B C_{ti} \times (1 + H_n) \times t \quad (5.6)$$

де $k_{н.з.}$ – коефіцієнт, що враховує накладні витрати за витратами по заробітній платі, $k_{н.з.} = 1,3$;

λ – коефіцієнт, що враховує премії; B – кількість робітників у ланці, чол

C_{ti} – часова тарифна ставка робітника бригади, що виконує ГРП, грн.;

H_n – норма нарахувань на фонд оплати праці згідно чинного законодавства;

t – час проведення операцій ГРП, год.

Нарахування на заробітну платню, що переносяться на собівартість виконаних робіт, на теперішній час складають 37,13%:

$$V_{p_grp} = 1,3 \times 1,25 \times 508,2 \times (1 + 0,3713) = 1144 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення робіт на свердловині:

$$V_{grp} = 438297 + 13428,14 + 1144 = 452896,14 \text{ (грн.)}$$

Приведені витрати на підготовку додаткового видобутку нафти складають: згідно статистичних даних середня собівартість видобутку нафти на підприємствах НГВУ „Охтирканафтогаз” складає 41000 грн., в тому числі змінні витрати – 12,82%, що складає 5256,20 грн.

Таблиця 5. 3. – Вихідні дані для розрахунку витрат на оплату праці при проведенні ГРП

| Посада | Розряд | Тарифна ставка, грн. | Склад бригади, осіб | Тривалість виконання робіт, год. | Заробітна плата по тарифу, грн. |
|--|--------|----------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Інженер з техніки безпеки | | 32,15 | 1 | 3 | 96,45 |
| Майстер | VI | 23,25 | 1 | 1 | 23,25 |
| Оператор по дослідженню свердловин | V | 16,18 | 1 | 1 | 16,18 |
| Оператор з видобування нафти та газу | IV | 12,27 | 2 | 1 | 24,54 |
| Оператор УСП-50 | IV | 7,62 | 1 | 1 | 7,62 |
| Оператор насосного агрегата УНІ-630*700А | IV | 7,62 | 5 | 1 | 38,1 |
| Оператор станції контролю | V | 7,82 | 1 | 1 | 7,82 |
| Водій | IV | 6,13 | 16 | 3 | 294,24 |
| Всього | | | 28 | | 508,2 |

Тоді додаткові витрати підприємства, пов'язані із видобутком додаткової нафти, складуть:

$$\Delta B_{\text{вид_грп.}} = \Delta Q_{\text{грп.}} \times C_{\text{соб.}}^{\text{змін.}} = 860,9 \cdot 5256,20 = 4,53 \text{ млн.грн}$$

5.3. Розрахунок економічного ефекту від впровадження запроєктованого рішення

Сумарний економічний ефект підприємства від проведення соляно-кислотної обробки та гідравлічного розриву пласта визначаємо за формулою:

$$E_{\text{сум.}} = [\Delta Q \times C_{\text{н}} - (V_{\text{грп}} + \Delta V_{\text{вид.}})] \times \left(1 - \frac{C_{\text{т пр}}}{100}\right) = (860,9 \cdot 49000 - (0,45 + 4,53) \cdot 10^6) \cdot (1 - 21/100) = 38,4 \text{ млн.грн} \quad (5.6)$$

де: $C_{\text{н}}$ – відпускна ціна нафти, грн. / т;

$C_{\text{т пр}}$ – ставка податку на прибуток, згідно чинного законодавства складає 21%.

Враховуючи імовірнісний характер проведених розрахунків, прогнозоване значення економічного ефекту визначають:

$$E_{\text{пр.}} = E_{\text{сум.}} \times a = 38,4 \cdot 0,38 = 14,59 \text{ млн.грн} \quad (5.7)$$

де a – вірогідність отримання запланованих показників, $a = 0,38$.

5.4 Висновок за розділом 5

Отже, проведення кислотного ГРП на свердловині № 77 Бугруватівського родовища є ефективним. З проведених вище розрахунків можна зробити висновок, що проведення кислотного ГРП є доцільнішим, оскільки впровадження даного заходу дозволить підприємству отримати економічний ефект в розмірі майже 14,59 млн.грн. за перший рік експлуатації свердловини.

Таблиця 5.4 - Розрахунок економічного ефекту

| Найменування показника | Позначення | Одиниця виміру | Величина показника |
|--|--|----------------|--------------------|
| 1. Відпускна ціна нафти підприємства | Цн | грн/т | 49000 |
| 2. Собівартість видобутку газу | С _{соб} | грн/т | 41000 |
| 3. Дебіт свердловини до проведення ГРП | q | т/добу | 1,38 |
| 4. Дебіт свердловини після проведення ГРП | q _п | т/добу | 5,9 |
| 5. Додатковий видобуток газу після проведення робіт | ΔQ | т/рік | 860,9 |
| 6. Витрати на проведення робіт з ГРП | $V_{ГРП} = V_m + V_t + V_p$ | тис. грн. | 452,9 |
| в тому числі: | | | |
| витрати на придбання матеріалів | V _м | тис. грн. | 438,30 |
| витрати на експлуатацію техніки та транспорту | V _т | тис. грн. | 13,43 |
| витрати на оплату праці робітників | V _р | тис. грн. | 1,144 |
| 7. Додаткові витрати підприємства, пов'язані із видобутком | $\Delta V_{вид} = \Delta Q_{сум} \cdot C_{соб}^{змін}$ | млн. грн. | 4,53 |
| 8. Сумарний економічний ефект підприємства | E _{сум} | тис. грн. | 38,4 |
| 9. Прогнозований економічний ефект підприємства | $E_{пр} = E_{сум} \cdot a$ | тис. грн. | 14,59 |

ВИСНОВКИ

1. Вивчення сучасних технологій кислотного гідророзриву пласта (ГРП) показує, що цей метод є важливим інструментом у сфері видобутку вуглеводнів, особливо в карбонатних колекторах. Успішний досвід застосування кислотного ГРП в карбонатних колекторах підтверджує його здатність суттєво підвищувати продуктивність свердловин, проте успішність цього процесу значною мірою залежить від геологічних умов та специфіки кожного родовища.
2. Впровадження кислотного ГРП супроводжується низкою ускладнень, таких як контроль за розширенням тріщин, корозійні проблеми, зниження ефективності у низькопроникних колекторах та утворення осадів, що можуть закупорювати пори. Ці аспекти ускладнюють технологічний процес і підвищують ризики, пов'язані з безпекою та екологією.
3. Ефективність ГРП за площею знижується з зростанням проникності, що обумовлено випереджальною фільтрацією рідини розриву у поровий простір пласта. Застосування технології нафтокислотних емульсій дозволяє у 3-4 рази збільшити радіус кислотного впливу на нафтонасичені інтервали пласта в порівнянні зі звичайною соляно-кислотою обробкою та ГРП.
4. Збільшення в'язкості нафтокислотної рідини розриву отримували шляхом безконтактної обробки пластової води, до введення соляної кислоти, дистильованою водою, підданої електрохімічній обробці. Величина ефективною в'язкості нафтокислотної емульсії, приготовленої на безконтактно обробленій пластовій воді, перевищує величину в'язкості стандартної нафтокислотної емульсії, чим збільшує ефективність обробки.
5. Очікуваний ефект від кислотного гідравлічного розриву пласта на свердловині №77 на Бугруватівському родовищі склав збільшення видобутку у 4,28 рази у перший рік експлуатації. Проведення кислотного ГРП на свердловині № 77 Бугруватівського родовища є ефективним, оскільки

впровадження даного заходу дозволить підприємству отримати економічний ефект в розмірі майже 14,59 млн.грн. за перший рік експлуатації свердловини

1. Акульшин О.І., Акульшин О.О., Бойко В.С., Дорошенко В.М., Зарубін Ю.О. Технологія видобування, зберігання і транспортування нафти і газу: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 434 с.
2. Атлас родовищ нафти і газу України // гол. ред. М. М. Іванюта. – Львів: Центр Європи, 1998. – Т. II. – 924 с.
3. Атлас родовищ нафти і газу України // гол. ред. М. М. Іванюта. – Львів: Центр Європи, 1999. – Т. VI. – 223 с.
4. Атлас родовищ нафти і газу України: в 6 т. / гол. ред. М. М. Іванюта. – Львів: «Центр Європи», 1998.
5. Бойко В.С, Бойко Р.В. Підземна гідрогазодинаміка: Підручник. - Львів: Апріорі, 2005. - 452 с.
6. Бойко В.С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ. - К.: Реал-Принт, 2004. - 695 с.
7. Васильєв В. М., Петров І. І. Технології стимуляції видобутку нафти: Кислотний ГРП. — Київ: Наукова думка, 2017. — 245 с.
8. Витвицький Я.С. Економічна оцінка гірничого капіталу нафтогазових компаній // Наукова монографія. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2007. – 431 с.
9. Витвицький Я.С. Економічна оцінка гірничого капіталу нафтогазових компаній // Наукова монографія. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2007. – 431 с.
10. Вуль М.А. Сучасний стан ресурсної бази вуглеводнів у нафтогазоносних регіонах України / М.А. Вуль, В.М. Гаврилко, Б.М. Толухтович // Газ і нафта. – 2006. – №11. – С. 32-36.