

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна
академія»
Кафедра (автоматизації, метрології та енергоефективних технологій)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

«Професійна підготовка фахівців нафтовидобувного підприємства до
ефективного застосування технології соляно - кислотної обробки
карбонатних колекторів на нафтових родовищах»»
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДЕА-ПОНС24мг
спеціальності: 015 Професійна освіта (Видобуток, переробка та
транспортування корисних копалин)
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

_____ / Герман ВАРИЧ
(підпис) (ім'я та прізвище)
Керівник _____ / Наталія АНТОНЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)
Рецензент _____ / Олександр АЛЕКСАНДРОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри _____ / Геннадій КАНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)
Нормоконтроль _____ / Євген КЛЮЧКА
(підпис) (ім'я та прізвище)
Секретар ЕК _____ / Євген КЛЮЧКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

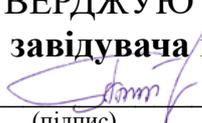
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В.Н.
КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій
Спеціальність 015.35 Професійна освіта (Видобуток, переробка та
транспортування корисних копалин)

Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Нафтогазова справа)»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри



(підпис)

д.т.н., проф. Геннадій КАНЮК

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу (дипломну роботу/дипломний проєкт)

другого (магістерського) рівня вищої освіти

здобувачу (ці) вищої освіти Герман ВАРИЧ
(ім'я, прізвище)

1. Тема «Професійна підготовка фахівців нафтовидобувного підприємства до ефективного застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах» затверджена наказом по університету № 4801-5/3664 від 06.10.2025 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «10» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Закони України, Постанови Верховної Ради, Постанови Кабінету Міністрів, теоретичні та практичні розробки вітчизняних та зарубіжних авторів за темою роботи, періодичні видання, статистичні дані, галузева нормативна документація, технологічна документація.

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, що їх належить розробити): Актуальність професійної підготовки фахівців нафтовидобувного підприємства до ефективного застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах. Огляд і аналіз сучасних технологій інтенсифікації припливу з карбонатних колекторів нафтових родовищ. Вимоги до кадрового забезпечення об'єкту галузі. Розробка дидактичного проєкту викладання теми «Ефективне застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах», що вивчається у процесі підвищення кваліфікації фахівців нафтовидобувного підприємства.

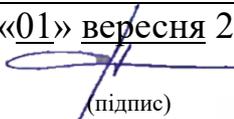
5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал): Презентація, виконана в програмі Microsoft PowerPoint

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
1	д.пед.н., проф. Брюханова Н.О.			

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2025 р.

Керівник роботи



(підпис)

Наталія АНТОНЕНКО

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання



(підпис)

Герман ВАРИЧ

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи
(дипломної роботи/дипломного проєкту)

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Актуальність професійної підготовки фахівців нафтовидобувного підприємства до ефективного застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах.	01.09.2025 – 15.09.2025	
2	Огляд і аналіз сучасних технологій інтенсифікації припливу з карбонатних колекторів нафтових родовищ.	16.09.2025 – 05.11.2025	
3	Вимоги до кадрового забезпечення об'єкту галузі.	06.11.2025 – 15.11.2025	
4	Розробка дидактичного проєкту викладання теми «Ефективне застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах», що вивчається у процесі підвищення кваліфікації фахівців нафтовидобувного підприємства.	16.11.2025 – 29.11.2025	
5	Оформлення пояснювальної записки та презентації	До 10.12.2025	

Здобувач (ка) вищої освіти

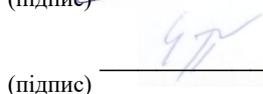


(підпис)

Герман ВАРИЧ

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль



(підпис)

Євген КЛЮЧКА

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

до магістерської роботи на тему
«Професійна підготовка фахівців нафтовидобувного підприємства до ефективного застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах»

Герман ВАРИЧ

Магістерська робота складається з 99 сторінка, 16 рисунків, 18 таблиць, список літератури містить 25 джерел.

ДИДАКТИЧНИЙ ПРОЄКТ, ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ, ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА, СОЛЯНО-КИСЛОТНА ОБРОБКА, НАФТОВЕ РОДОВИЩЕ, КАРБОНАТНІ КОЛЕКТОРИ

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки фахівців нафтовидобувних підприємств, що забезпечує якісне виконання робіт із соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів та підвищення ефективності видобутку нафти.

Предмет дослідження – професійна підготовка фахівців нафтовидобувних підприємств до правильного та безпечного застосування технології кислотної обробки пластів карбонатних колекторів з метою підвищення продуктивності свердловин і продовження міжремонтного періоду.

У роботі обґрунтовано значущість якісної професійної підготовки фахівців нафтовидобувного підприємства до ефективного застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах. Проведено огляд ґрунтовний аналіз сучасних технологій інтенсифікації припливу з карбонатних колекторів нафтових родовищ. Також сформовано та науково обґрунтовано комплекс вимог до кадрового забезпечення фахівців нафтовидобувного підприємства до ефективного застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах.

Розроблено дидактичний проєкт викладання теми «Ефективне застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах», що вивчається у процесі підвищення кваліфікації фахівців нафтовидобувного підприємства.

ABSTRACT
of the master's thesis on the topic
«Professional training of oil production enterprise specialists for the
effective application of hydrochloric acid treatment technology for carbonate
reservoirs in oil fields»
German VARICH

The master's thesis consists of 99 pages, 15 figures, 18 tables, and a list of references containing 25 sources.

**EDUCATIONAL PROJECT, ADVANCED TRAINING,
PROFESSIONAL TRAINING, SALT-ACID TREATMENT, OIL FIELD,
CARBONATE RESERVOIRS**

The object of research is the process of professional training of specialists at oil production enterprises, which ensures high-quality performance of work on hydrochloric acid treatment of carbonate reservoirs and increases the efficiency of oil production.

The subject of the study is the professional training of specialists at oil production enterprises in the correct and safe application of acid treatment technology for carbonate reservoirs in order to increase well productivity and extend the period between repairs.

The work substantiates the importance of high-quality professional training of specialists of oil production enterprises for the effective application of acid treatment technology for carbonate reservoirs in oil fields. A thorough analysis of modern technologies for intensifying the flow from carbonate reservoirs in oil fields was conducted. A set of requirements for the staffing of oil production enterprises with specialists for the effective application of hydrochloric acid treatment technology for carbonate reservoirs in oil fields was also formed and scientifically substantiated.

A didactic project has been developed for teaching the topic ‘Effective application of hydrochloric acid treatment technology for carbonate reservoirs in oil fields’, which is studied in the process of advanced training of oil production enterprise specialists.

ПОЗНАЧЕННЯ, ВИЗНАЧЕННЯ, СКОРОЧЕННЯ

- НГВУ**- Нафтогазодобувне управління;
- ГДС**- Геофізичні дослідження свердловини;
- НГКР**- нафто-газоконденсатне родовище;
- ПЗП**- Привибійна зона пласта;
- ПАР**- Поверхнево-активні речовини;
- АСПВ**- асфальто-смоло-парафінові відкладення;
- НКТ**- Насосно-компресорні труби;
- ПРС**- Підземний ремонт свердловини;
- СКО**- Соляно-кислотна обробка;
- КВТ**- крива відновлення тиску;
- ОПЗ**- Обробка привибійної зони;
- ЧДД**- Чистий дисконтований дохід;
- НС**- Надзвичайна ситуація;
- КРХ**- капітальний ремонт свердловини;
- ЗІЗ** – засоби індивідуального захисту;
- ГДК**- гранично-допустима концентрація.

ЗМІСТ

ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1	21
АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ НАФТОВИДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА ДО ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СОЛЯНО - КИСЛОТНОЇ ОБРОБКИ КАРБОНАТНИХ КОЛЕКТОРІВ НА НАФТОВИХ РОДОВИЩАХ	21
1.1. Професійна підготовка персоналу як ключовий фактор ефективності....	21
1.2. Науково-практична значущість підготовки фахівців.....	24
Висновки до розділу 1	26
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД І АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРИПЛИВУ З КАРБОНАТНИХ КОЛЕКТОРІВ НАФТОВИХ РОДОВИЩ ...	28
2.1 Аналіз сучасного видобуття нафти з карбонатних колекторів на нафтових місцях.....	28
2.2 Ускладнення у карбонатних колекторах розробки родовища.....	42
2.2.1 Механізм впливу кислотних складів у пластових умовах карбонатних колекторів.....	46
2.3 Вибір і обґрунтування застосування технологій інтенсифікації притоку на карбонатних колекторах	55
2.3.1 Вибір ділянки для проведення кислотної обробки.....	55
2.3.2 Методика розрахунку кислотної обробки карбонатного колектора.....	57
2.3.3 Інтерпретація результатів соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів.....	67
2.4 Ефективність застосування соляно-кислотної обробки на містородженні Х	70
Висновки до розділу 2	76
РОЗДІЛ 3 ВИМОГИ ДО КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТУ ГАЛУЗІ	78

3.1	Вимоги до кадрового забезпечення фахівців нафтовидобувного підприємства до ефективного застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах.	78
3.2	Кваліфікаційні вимоги до фахівців нафтовидобувного підприємства	78
3.3	Вимоги до професійної підготовки та підвищення кваліфікації персоналу	79
3.4	Вимоги до знань і навичок у сфері промислової та екологічної безпеки .	80
3.5	Організаційні вимоги до управління персоналом при проведенні кислотних обробок	80
	Висновки до розділу 3	81
	РОЗДІЛ 4	82
	РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «ЕФЕКТИВНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СОЛЯНО - КИСЛОТНОЇ ОБРОБКИ КАРБОНАТНИХ КОЛЕКТОРІВ НА НАФТОВИХ РОДОВИЩАХ», ЩО ВИВЧАЄТЬСЯ У ПРОЦЕСІ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ФАХІВЦІВ НАФТОВИДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА..	82
4.1.	Вихідні дані.....	82
4.2.	Види та зміст професійної діяльності фахівця.....	84
4.3.	Кваліфікаційні вимоги до фахівців нафтовидобувного підприємства	86
4.4.	Постановка цілей вивчення навчальної теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах»	87
4.5.	Перелік літературних джерел з теми.....	88
4.6.	Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах»	89
4.7.	Аналіз базових умов навчання з теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах»	90

4.8. Проектування мотиваційних технологій навчання з теми «Ефективне застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах», характеристика і текст мотивації, використання якої доцільно при викладанні навчального матеріалу (табл. 4.5).	91
4.9. Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності при вивченні теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах» (табл. 4.6).	92
4.10. Проектування технології формування виконавчих дій при вивченні теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах» (табл. 4.7).	94
4.11. Проектування контрольних дій з теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах» (таблиця 4.8).	96
4.12. Розробка програми курсів підвищення кваліфікації викладання теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах» представлено в таблиці 4.9.	97
4.13. Розробка сценарію заняття «Інтегровані вправи: моделювання експлуатаційних ситуацій»	100
Висновки до розділу 4	101
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	105

ВСТУП

Сучасна нафтовидобувна галузь характеризується постійним підвищенням технічної складності технологічних процесів, зростанням вимог до продуктивності свердловин та ефективного використання підземних ресурсів. Одним із ключових напрямів інтенсифікації видобутку нафти з карбонатних колекторів є застосування технології соляно-кислотної обробки (СКО), яка дозволяє відновлювати прохідність порового простору, зменшувати гідравлічний опір і підвищувати дебіт свердловин.

Ефективність проведення кислотної обробки залежить не лише від технологічних параметрів, а й від рівня підготовки інженерно-технічного персоналу. Неправильний підбір складу кислотного розчину, недотримання режимів закачування або порушення технологічних регламентів можуть призвести до зниження ефективності операції, ушкодження колектора або навіть аварійних ситуацій на свердловині. Тому підготовка висококваліфікованих фахівців, здатних оцінювати стан пласта, прогнозувати результативність обробки та контролювати процеси у реальному часі, є надзвичайно актуальною.

На сучасному етапі зростає роль інтегрованого підходу до професійного навчання, що поєднує знання з хімії, гідродинаміки, геології, технології нафтовидобутку та промислової безпеки. Підвищення кваліфікації інженерно-технічного персоналу, орієнтоване на практико-орієнтовані методи навчання, моделювання реальних виробничих ситуацій і використання цифрових інструментів прогнозування, дозволяє не тільки забезпечити ефективність і безпеку проведення СКО, а й оптимізувати експлуатаційні витрати підприємства.

Таким чином, професійна підготовка фахівців нафтовидобувних підприємств до ефективного застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів є актуальною науково-практичною проблемою, вирішення якої забезпечує підвищення продуктивності

свердловин, зниження ризиків аварій та безпечну експлуатацію нафтових родовищ.

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки фахівців нафтовидобувних підприємств, що забезпечує якісне виконання робіт із соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів та підвищення ефективності видобутку нафти.

Предмет дослідження – професійна підготовка фахівців нафтовидобувних підприємств до правильного та безпечного застосування технології кислотної обробки пластів карбонатних колекторів з метою підвищення продуктивності свердловин і продовження міжремонтного періоду.

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати та розробити систему професійної підготовки фахівців нафтовидобувних підприємств, спрямовану на формування компетентностей, необхідних для безпечного і ефективного проведення кислотних обробок, аналізу їх впливу на продуктивність пластів і прийняття експертних рішень щодо оптимізації технологічних процесів.

Гіпотеза дослідження. Ефективність професійної підготовки фахівців забезпечуватиме високий рівень безпеки та результативності проведення соляно-кислотних обробок, якщо:

- навчальна програма включатиме вивчення фізико-хімічних властивостей карбонатних колекторів, механізмів корозії, методів контролю кислотних розчинів та технологічних режимів обробки;
- забезпечується інтеграція знань з нафтогазової інженерії, хімії, промислової безпеки та нормативного регулювання;
- застосовуються практикоорієнтовані методи навчання, включаючи моделювання кислотних обробок, роботу з лабораторним обладнанням, аналіз реальних кейсів та тренінги з прийняття рішень щодо оптимізації процесів;

– використовуються цифрові інструменти для прогнозування впливу кислотної обробки на продуктивність пластів та залишковий ресурс свердловин.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати специфіку професійної діяльності фахівців нафтовидобувних підприємств у сфері кислотної обробки карбонатних колекторів.

2. Визначити компетентнісні вимоги до інженерно-технічного персоналу, який здійснює планування та контроль технологічних процесів обробки.

3. Обґрунтувати зміст, структуру та методи професійної підготовки фахівців із застосування технологій соляно-кислотної обробки.

4. Розробити програму підвищення кваліфікації, що інтегрує технічні, аналітичні, безпекові та нормативні аспекти діяльності.

Методи дослідження: аналіз нормативних документів та стандартів з промислової безпеки та технології нафтовидобутку; порівняльний аналіз навчальних програм у суміжних галузях; експертне опитування фахівців; розбір кейсів реальних технологічних операцій та аварій; педагогічне моделювання; узагальнення практичного досвіду нафтовидобувних підприємств.

Наукова новизна полягає у комплексному обґрунтуванні системи професійної підготовки фахівців нафтовидобувних підприємств до застосування соляно-кислотної технології обробки карбонатних колекторів, що поєднує технічні, аналітичні, безпекові та нормативні компетентності.

Практична значущість дослідження полягає у можливості впровадження розробленої системи підготовки у програми підвищення кваліфікації, що забезпечить підвищення ефективності видобутку нафти, безпечне проведення кислотних обробок та оптимізацію планування технологічних операцій.

Структура магістерської роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ НАФТОВИДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА ДО ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СОЛЯНО - КИСЛОТНОЇ ОБРОБКИ КАРБОНАТНИХ КОЛЕКТОРІВ НА НАФТОВИХ РОДОВИЩАХ

1.1. Професійна підготовка персоналу як ключовий фактор ефективності

Професійна підготовка інженерно-технічного персоналу нафтовидобувних підприємств є одним із ключових факторів, що визначають ефективність застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів. Рівень знань, навичок та компетентностей фахівців безпосередньо впливає на результативність технологічних процесів, безпеку операцій та довгострокову продуктивність свердловин. Сучасна нафтовидобувна галузь стикається із зростаючими вимогами до оптимізації процесів, мінімізації ризиків та забезпечення екологічної безпеки, що підкреслює особливу актуальність системного підходу до підготовки персоналу.

Для ефективного проведення соляно-кислотної обробки персонал повинен володіти комплексом міждисциплінарних знань і практичних навичок. Серед ключових компетентностей виділяють хімічні знання та навички, що дозволяють розуміти фізико-хімічні процеси, які відбуваються при введенні кислотних розчинів у поровий простір карбонатних колекторів. Інженери повинні знати механізми розчинення карбонатних порід, вплив домішок та температурних умов на ефективність обробки, а також володіти навичками підбору складу кислотного розчину для конкретного пласта і прогнозування продуктивності свердловини після проведення операцій. Не менш важливими є знання гідродинаміки та механіки потоків, оскільки розуміння закономірностей руху кислотного розчину у поровому просторі дозволяє прогнозувати розподіл речовини, уникати блокувань і

нерівномірного проникнення у колектор. Персонал повинен вміти аналізувати параметри потоку, враховувати тиск, швидкість і турбулентність, а також визначати оптимальні режими закачування розчинів для забезпечення максимальної ефективності процесу.

Важливою складовою підготовки є геологічні знання, які дозволяють оцінювати будову родовища, характеристики колектора та наявність потенційно проблемних зон, де можливе утворення осадів або блокування каналів. Такі знання дозволяють правильно планувати кислотну обробку, уникати локальних перевантажень і контролювати вплив на пласт у цілому. Крім того, інженерно-технічний персонал повинен мати високий рівень технологічних навичок, що включає практичне володіння методами закачування кислотних розчинів, контролем параметрів свердловини та роботою з насосними установками, клапанами і системами автоматичного керування. Ці компетентності забезпечують не лише ефективність операцій, але й безпеку проведення робіт.

Традиційне теоретичне навчання недостатнє для формування необхідних компетентностей. Практико-орієнтовані методи навчання дозволяють створювати реалістичні умови, близькі до виробничих, і формувати здатність приймати рішення у складних ситуаціях. До таких методів належать лабораторні та демонстраційні заняття, на яких відпрацьовуються основні технологічні операції, оцінюється поведінка кислотного розчину у моделюваних колекторах, відпрацьовуються процедури безпечного використання обладнання та реакції на нештатні ситуації. Тренажерні модулі та цифрові симулятори відтворюють умови реальної свердловини, включаючи зміну тиску, температури та параметрів потоку. Це дозволяє експериментувати з різними сценаріями обробки, прогнозувати ефективність операцій та аналізувати наслідки неправильних дій без ризику для реального обладнання. Кейс-методи та аналіз виробничих ситуацій формують аналітичне мислення та навички прийняття обґрунтованих

технологічних рішень, що забезпечує високий рівень підготовки персоналу до практичної роботи на нафтових родовищах.

Підвищення кваліфікації персоналу є критично важливим для зниження аварійності і підвищення безпеки при проведенні соляно-кислотної обробки. Воно дозволяє мінімізувати ризики аварійних ситуацій, пов'язаних із неконтрольованим хімічним впливом на колектор або обладнання, оптимізувати технологічні процеси, забезпечуючи рівномірне розподілення кислотного розчину та максимізацію ефективності обробки. Підготовлений персонал дотримується правил поведінки з небезпечними хімічними речовинами, використовує засоби індивідуального захисту та правильно реагує на аварійні ситуації. Крім того, навчання сприяє підвищенню якості прийняття рішень, оскільки формує компетентності у комплексному аналізі даних, прогнозуванні наслідків технологічних дій та виборі оптимальних режимів роботи свердловин.

Комплексна підготовка інженерно-технічного персоналу створює професійне середовище, де фахівці здатні ефективно застосовувати сучасні технології, зменшувати прості обладнання та підтримувати стабільний рівень продуктивності родовищ. Це особливо важливо в умовах підвищених вимог до екологічності та безпеки нафтовидобувного виробництва. Таким чином, професійна підготовка персоналу є ключовим фактором забезпечення ефективності технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів, що безпосередньо впливає на оптимізацію виробничих процесів, підвищення продуктивності та безпечну експлуатацію нафтових родовищ. Інтеграція теоретичних знань, практико-орієнтованих методів навчання та цифрового моделювання дозволяє створити високопрофесійний кадровий склад, здатний ефективно і безпечно виконувати складні технологічні операції, забезпечуючи стабільний розвиток нафтовидобувного підприємства.

1.2. Науково-практична значущість підготовки фахівців

Науково-практична значущість професійної підготовки фахівців нафтовидобувних підприємств, які виконують технологічні операції з використанням соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів, визначається їх прямим впливом на продуктивність і безпеку свердловин, ефективність використання ресурсів та стійкість роботи підприємства в цілому. Висококваліфікований персонал не лише здатний правильно виконувати складні технологічні операції, але й прогнозувати їх наслідки, вчасно реагувати на нестандартні ситуації та забезпечувати мінімізацію ризиків для обладнання, колектора і навколишнього середовища.

Ефективність роботи свердловин у значній мірі залежить від компетентності фахівців, які займаються підготовкою та проведенням кислотної обробки. Розрахунок складу кислотних розчинів, визначення режимів закачування, контроль параметрів потоку та температури, оцінка стану порового простору карбонатних колекторів – це лише частина завдань, які вимагають глибоких знань і практичного досвіду. Помилки або недосконале виконання цих операцій може призвести до нерівномірного проникнення розчину, утворення блокувань, зниження дебіту свердловини або навіть до аварійних ситуацій, що негативно впливає на економічну ефективність підприємства та безпеку робіт. Саме тому підготовка фахівців, яка забезпечує високий рівень професійної компетентності, є критично важливою для стабільного функціонування технологічних процесів і досягнення планових показників видобутку нафти.

Інтеграція навчання з виробничими процесами та сучасними технологіями відіграє ключову роль у підвищенні якості підготовки персоналу. Використання лабораторних та тренажерних модулів дозволяє моделювати реальні виробничі ситуації і відпрацьовувати практичні навички без ризику для свердловини. Цифрові симулятори та програмні комплекси для моделювання кислотної обробки дозволяють відтворювати процеси у різних

умовах пласта, прогнозувати ефективність обробки та оцінювати вплив параметрів технології на продуктивність свердловини. Поєднання теоретичного навчання з цифровим моделюванням забезпечує формування у слухачів аналітичного мислення, навичок прийняття обґрунтованих рішень і здатності оцінювати наслідки своїх дій. Це створює фундамент для високого рівня автономності фахівця та дозволяє значно скоротити час на адаптацію до нових виробничих умов або впровадження нових технологій.

Практичні перспективи впровадження системи підвищення кваліфікації на нафтовидобувних підприємствах включають декілька напрямів. По-перше, систематичне навчання та підвищення кваліфікації дозволяє зменшити кількість аварійних ситуацій і збоїв технологічного процесу. Професійно підготовлений персонал здатний прогнозувати можливі проблеми, контролювати параметри кислотної обробки і своєчасно реагувати на відхилення від нормальних умов роботи, що значно підвищує безпеку і надійність свердловин. По-друге, підготовка фахівців дозволяє оптимізувати використання обладнання та хімічних реагентів, що знижує експлуатаційні витрати і підвищує економічну ефективність виробництва. Третій напрям включає створення можливості швидкого впровадження новітніх технологій і методів обробки, оскільки навчений персонал здатний освоювати сучасне обладнання та застосовувати інноваційні підходи до вирішення виробничих завдань.

Особливо важливим аспектом є впровадження інтегрованих навчальних програм, які поєднують знання з хімії, гідродинаміки, геології та технології нафтовидобутку з практичними вправами на тренажерах, лабораторних стендах та цифрових симуляторах. Такий підхід дозволяє не тільки закріпити теоретичні знання, але й сформувати компетентності у прийнятті рішень в умовах обмеженої інформації, аналізі результатів кислотної обробки та корекції технологічних режимів. Крім того, інтеграція навчання з виробничими процесами дозволяє фахівцям зрозуміти реальний вплив своїх дій на продуктивність свердловини та стан колектора, що підвищує

відповідальність та мотивацію персоналу до дотримання нормативів і технологічних стандартів.

Науково-практична значущість підготовки фахівців також визначається можливістю впровадження стандартів і методик оцінки компетентності персоналу. Розробка дидактичних матеріалів, систематичних тренінгів і програм підвищення кваліфікації дозволяє формалізувати процес навчання, створити єдині критерії оцінки професійних навичок та забезпечити безперервний розвиток персоналу. Такий підхід дозволяє підприємствам впроваджувати програму підготовки фахівців як складову стратегії розвитку і підвищення конкурентоспроможності, оскільки якісна підготовка кадрів прямо впливає на технологічну ефективність і економічні результати діяльності.

Таким чином, науково-практична значущість професійної підготовки фахівців нафтовидобувних підприємств полягає у комплексному підході до формування знань, навичок та компетентностей, необхідних для ефективного і безпечного проведення соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів. Високий рівень професійної підготовки персоналу підвищує продуктивність свердловин, знижує ризики аварій і непередбачених простоїв, сприяє економічній ефективності виробництва та інтеграції сучасних технологій у практичну діяльність підприємств. Підготовлений персонал здатний оперативно адаптуватися до нових умов, впроваджувати інноваційні методи обробки та забезпечувати стабільну і безпечну експлуатацію нафтових родовищ, що робить системну професійну підготовку стратегічно важливою складовою розвитку галузі.

Висновки до розділу 1

Аналіз сучасного стану нафтовидобувної галузі та специфіки технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів дозволяє зробити висновок про критичну важливість системної професійної підготовки інженерно-

технічного персоналу. Ефективність проведення кислотної обробки, продуктивність свердловин, безпека персоналу та збереження обладнання безпосередньо залежать від компетентності фахівців, що виконують планування та реалізацію технологічних операцій.

Високий рівень професійної підготовки персоналу дозволяє прогнозувати результати кислотної обробки, правильно обирати склад і режим закачування кислотних розчинів, контролювати технологічні параметри і своєчасно реагувати на відхилення від нормальної роботи. Це сприяє зниженню аварійності, мінімізації простоїв свердловин та підвищенню економічної ефективності видобутку нафти.

Науково-практична значущість підготовки полягає в інтеграції теоретичних знань з хімії, гідродинаміки, геології та технології нафтовидобутку з практичними навичками роботи на лабораторних стендах, цифрових симуляторах та тренажерах. Такий підхід формує здатність фахівців приймати обґрунтовані рішення, аналізувати наслідки технологічних дій і забезпечувати безпечну експлуатацію свердловин.

Впровадження системи підвищення кваліфікації на нафтовидобувних підприємствах створює умови для безперервного професійного розвитку персоналу, що дозволяє швидко адаптуватися до нових технологій та виробничих вимог. Системна підготовка фахівців стає стратегічним чинником стабільного функціонування підприємств, підвищення продуктивності родовищ і забезпечення стійкого розвитку галузі в цілому.

Таким чином, розробка та впровадження комплексних програм підготовки та підвищення кваліфікації інженерно-технічного персоналу є необхідною умовою для ефективного та безпечного застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів, оптимізації виробничих процесів і забезпечення високого рівня надійності нафтовидобувного виробництва.

РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД І АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРИПЛИВУ З КАРБОНАТНИХ КОЛЕКТОРІВ НАФТОВИХ РОДОВИЩ

З кожним роком темпи видобутку вуглеводневої сировини знижуються, а обводненість збільшується. У зв'язку з цим актуальності набуває розробка карбонатних колекторів з метою підтримки темпів видобутку.

Особливістю карбонатних колекторів є їх складна будова, яка має низьку проникність, високий рівень неоднорідності, складну структуру порового простору, а також неоднорідність колекторських фільтраційних характеристик. Так через нерівномірний розподіл проникності за товщиною і площею призводить до нерівномірного вироблення запасів, залишаючи низько проникні ділянки незачепленими. А порово-каверново-тріщинний тип колектора призводить до швидкої обводнення флюїду і як наслідок зниження нафтовіддачі.

В основному при розробці карбонатних колекторів як методи інтенсифікації притоку нафти використовують різні види кислотної обробки свердловин. До цих методів відносять соляно-кислотні, термокислотні, пінокислотні та інші види кислотних обробок свердловин. Кислотні обробки призводять до збільшення проникності, тріщинуватості, що у свою чергу прискорює процес обводнення свердловиною продукції.

Одним із таких методів є використання комбінованих двостадійних полімеркислотних обробок. Метою яких є, на першій стадії обробки, селективне відключення водонасичених інтервалів, а на другій – соляно-кислотна дія на нафтонасичену порову породу для збільшення проникності карбонатного колектора.

2.1 Аналіз сучасного видобуття нафти з карбонатних колекторів на нафтових місцях

Карбонатний колектор – це гірська порода, переважно утворена з доломітів і вапняків, у якій фільтрація флюїду відбувається з допомогою тріщинуватості (системи тріщин). Так само хотілося б відзначити, що карбонатний колектор має складну структуру вертикальної пошарової макро-і мікротріщинуватості.

Інтенсифікація видобутку нафти – це комплекс заходів та методів на привибійну зону пласта, створені задля збільшення видобутку нафти.

Історія розробки карбонатних колекторів розпочалася ще на початку 1950-х років у зв'язку з відкриттям покладів Спраберрі у Західному Техасі та гігантських родовищ на Близькому Сході.[1]

Останнім часом розробка карбонатних колекторів активно розвивається. Проводяться геофізичні дослідження свердловин із єдиною метою виявлення нафтонасичених колекторів. Після чого вже за допомогою комплексних заходів домагаються припливу нафти зі свердловини.

2.1.1 Геолого-фізична характеристика родовищ карбонатних колекторів

Літологічні та реологічні особливості карбонатних колекторів. Основні мінерали, що становлять карбонатну породу - це кальцит і арагоніт CaCO_3 , доломіт $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, магнезит MgCO_3 . Крім основних породоутворюючих мінералів у карбонатах присутні родохрозит MnCO_3 , сидерит FeCO_3 , смітсоніт ZnCO_3 , анкерит $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Mn})(\text{CO}_3)_2$.

Кальцит (рис. 2.1) є основним (іноді єдиним) мінералом карбонатних осадових порід, особливо біогенних порід, і нарівні з арагонітом входить до складу твердих частин коралів та багатьох інших організмів.

Арагоніт (рис. 2.2) є нестійкою модифікацією карбонату кальцію. Відрізняється від кальциту зовнішнім виглядом кристалів, відсутністю спайності і дещо підвищеною твердістю, а від променистих цеолітів – реакцією із соляною кислотою.



Рис. 2.1 – Порода кальцит



Рис. 2.2 – Порода арагоніт

Доломіт (рис. 2.3) кристалізується, утворюючи ромбоєдричні кристали, грані яких мають форму ромбів і паралельні напрямкам його досконалої спайності. Порошок доломіту закипає в соляній кислоті, шматки в ній розчиняються дуже повільно, але розчиняються в гарячій кислоті.



Рис. 2.3 – Порода доломіт

Процеси карбонатутворення за способом накопичення у морському середовищі призводять до утворення трьох груп карбонатних порід. Поширена класифікаційна схема, що поєднує вапняки, вапнянодоломітові породи та доломіти. Для всіх них однаково справедливий підрозділ на три основні генетичні групи: хемогенні (або біохемогенні), органогенні та уламкові – з виділенням четвертої генетично складної групи перехідних або змішаних карбонатних порід [5].

Група хемогенних (або біохемогенних) карбонатних порід включає породи, карбонатна частина яких в основному (50% і більше) представлена хімічно або біохімічно обложеним карбонатним матеріалом. У цю групу порід включені карбонатні утворення типу оолітів, пізолітів, згустків (<0,1 мм) та грудок (0,1-1,0 мм), карбонатні мули.

Обширну групу органогенних карбонатних порід становлять породи, у яких 50 % і більше карбонатної частини належить карбонатним органогенним залишкам [6]. Залежно від того, представлені останні залишками тварин організмів (фауни) або флори (водорості), органогенні карбонатні породи можуть бути зоогенними, фітогенними або змішаними, фітозоогенними.

У підгрупі зоогенних карбонатних порід розрізняються вапняки, складені цілими скелетними фрагментами, – біоморфні (суцільно-раковинні) або їх уламками – детритові (при розмірах уламків більше 0,1 мм) та шламові (з уламками менше 0,1 мм), а також змішані біоморфно-детритові, біоморфно-шламові.

Подальший підрозділ зоогенних, фітогенних та фітозоогенних карбонатних порід здійснюється відповідно до групової належності органогенних залишків. До зоогенних карбонатів зараховані копрогенні вапняки, які складаються не зі скелетних залишків самих організмів, а з продуктів їхньої життєдіяльності.

Серед фітогенних (і фітозоогенних) карбонатних порід розрізняються власне водоростеві (літотамнієві, кодієві та інші вапняки) та їх специфічні

різновиди – строматолітові, онколітові, мікрофітолітові вапняки, вапнянодоломітові породи та доломіти.

Уламкові карбонатні породи включають вапняки, доломіти і вапняно-доломітові породи, які на 50% і більше складаються з уламків карбонатних порід. Цементом їх є зернистий карбонатний матеріал.

Серед уламкових карбонатних порід можна розрізняти седиментаційні, тобто первинні уламкові карбонатні породи, та катагенетичні – вдруге уламкові.

До вторинно уламкових карбонатних порід відносяться різні псевдоконгломерати та брекчії, що виникли за рахунок руйнування або роздроблення вже сформованих карбонатних порід при тектонічних деформаціях або в результаті вилуговування.

Серед первинних уламкових карбонатних порід слід розрізняти власне теригенні (аллохтонні, екстра класти), утворені карбонатними уламками – продуктами руйнування прилеглої суші та внутрішньо-формаційні (автохтонні, інтракласти). Останні виникають безпосередньо дома своєї освіти з допомогою підводного розмиву вже ущільнених карбонатних опадів. Форменні утворення уламкових порід представлені конгломератами та брекчіями (>1,0 мм), гравелітами (1,0-10,0 мм), пісковиками (1,0-0,1 мм) та алевролітами (0,1-0,01 мм).

Породи перехідного чи змішаного типу – це породи, у яких зернистий карбонатний матеріал має підлегле значення, виступаючи ролі цементу, а переважаючий (> 50 %) «цементуємий» матеріал генетично різниться. Він може належати до хомогенних (біохомогенних) формених карбонатних утворень, органогенних залишків та уламків карбонатних порід. Обов'язковою є присутність їх у значних, приблизно рівних кількостях.

Відповідно такі породи будуть характеризуватись як органогенно-уламкові, комковато-органогенні і так далі.

Карбонатні осадові гірські породи - вапняки та доломіти - поділяються за речовим складом, способом утворення, структурою. У класифікаціях

карбонатних порід за речовинним складом поряд з більш менш чистими різницями відображені природні, існуючі в природі, змішані карбонатні породи. Вапняки (і доломіти), нерідко містять домішки або помітні частки глинистого, сульфатного, крем'янистого, рідше уламкового матеріалу, утворюють змішані глинисто-сульфатно-кремністо-і уламково-вапнякові (або доломітові) породи і займають проміжне положення між вапняками, сульфатними, крем'янистими та теригенними породами - з іншого.

Для підрозділу одно-, дво- та трикомпонентних карбонатних порід за їх хімічним складом, були запропоновані схеми, які нерідко зображуються у вигляді трикутних діаграм. На діаграмах як основні дані три компоненти: вапняк, доломіт і нерозчинний в соляній кислоті залишок (глина, алеврит, пісок). У більшості класифікаційних трикутників наводиться два ряди перехідних порід між трьома основними компонентами: ряд, спрямований від чистого вапняку (або доломіту) у бік глини, через мергелі, та ряд від вапняку у бік доломіту (або магнезиту).

Загальноприйнятої класифікації та термінології карбонатних порід за їх хімічним та мінералогічним складом дотепер немає. Найбільш поширені з опублікованих у Радянському Союзі класифікацій наведені у табл. 2.1 [7]. Також залежно від різновидів змішаних матеріалів сформовані додаткові класифікації, наведені у табл. 2.2 і 2.3.

Механізм фільтрації флюїду в карбонатних колекторах. Формування пористості карбонатних порід відбувається в чотири головні етапи (гіпергенез → седиментогенез → діагенез → катагенез) з подальшими постседиментаційними перетвореннями (ущільнення та цементация, перекристалізація, доломітизація, кальцитизація та сульфатизація, вилуговування, тріщиноутворення). Розглянемо ці етапи та його наслідки [5].

Седиментогенез – це утворення осаду. На формування пустотного простору та його структуру на цій стадії великий вплив має гідродинаміка середовища осадження. Слабка гідродинаміка і рухливість осаду призводять до осадження тонкозернистого карбонатного матеріалу (пелітоморфні,

Таблиця 2.2

Підрозділи вапняків (доломітів), що містять домішок крем'янистої речовини

Порода	Зміст вапняно-доломітового компонента, %	Порода	Зміст, %	
			CaCO ₃	кремнезему (хемогенного або органогенного)
По С. Г. Вишнякову (1957)		По Г. І. Теодоровичу (1958)		
Кремінь (силіколіт)	0-5	Вапняк (доломіт)	100-95	0-5
Кремінь вапняний (доломітистий)	5-25	Кремнистий вапняк (доломіть)	95-50	5-50
Кремінь ізвітковий (доломітовий)	25-50	Вапняний (доломітистий) силіцит	50-5	50-95
Вапняк (доломіт) крем'яний	50-75	Силіциліт	0-5	100-95
Вапняк (доломіт) крем'янистий	75-90			
Вапняк (доломіт)	95-100			

Таблиця 2.3

Класифікація основних різновидів вапнодоломітових порід у суміші з гіпсом, магnezитом і сидеритом за С. Г. Вишнякову (1957)

Зміст вапняно-доломітового компонента %	Гіпсовокарбонатні породи	Магnezіальнодоломітові (вапняні) породи	Сидеритовапняні (доломітові) породи
0-5	Гіпс	Магnezіт	Сидерит
5-25	Гіпс доломітистий (вапняний)	Магnezит доломітистий (вапняний)	Сидерит вапняний
25-50			Сидерит вапняний

	Гіпс доломітовий (вапняний)	Магнезит доломітовий (вапняний)	Вапняк сидеритовий
50-75	Доломіт (вапняк) гіпсовий	Доломіт (вапняк) магнезитовий	Вапняк сидеритистий
75-95	Доломіт (вапняк) гіпсистий	Доломіт (вапняк) магнезитистий	
95-100	Вапняки та доломіти		

тонкозернисті вапняки та мули), у яких розмір пор дорівнює розмірам карбонатних частинок ($\approx 10^{-3}$ мм).

Діагенез відповідно до уявлень Н. М. Страхова - це все процеси, що відбуваються в осаді відразу після його утворення до моменту повної його літифікації та перетворення на породу. При діагені відбувається ущільнення осаду і зниження обсягу порового простору як реакція на більш щільну упаковку зерен при зростанні гірського тиску. Ущільнення осаду пов'язане з процесом цементації, який відбувається за рахунок надходження додаткової карбонатної речовини з метеорними та морськими водами, що веде до зниження пористості та літифікації порід.

При діагенезі утворюється два види тріщинуватості: літогенетична, що призводить до утворення мікротріщин, і тектонічна, що супроводжується мезо- та макротріщинами. Наступна за діагенез стадія – це катагенез.

Катагенез - стадія хіміко-мінералогічного перетворення осадових порід до перетворення їх на метаморфічні породи. Катагенез супроводжується перекристалізацією, кальцитизацією та сульфатизацією порід, вилуговуванням та доломітизацією, а також тріщиноутворенням. Вміст цементу може досягати 30% загального обсягу породи і становить половину твердої фази. Вилуговування на цій стадії - один з головних процесів, що веде до утворення кавернової пористості.

Доломітизація, або заміщення кальцію на магній, відбувався внаслідок впливу магнійвмістовних вод. Зміна структури порового простору відбувається за реакцією Гайдінгера (2.1) або Мариньяка (2.2):



Розмір катагенетичної пористості при доломітизації залежить від складу розчинів, що містять магній. Якщо доломітизація йде по реакції Мариньяка, то хлорид кальцію, що утворюється, через високу розчинність виноситься, пористість зростає. Якщо діє схема Гайдінгера, утворюються сульфати кальцію, частково заповнюють пори і знижують пористість.

За даними Н. П. Запівалова найбільше значення для зміни фільтраційних та ємнісних властивостей має доломітизація. Він вважає, що по суті це метасоматоз, який відбувається шляхом заміщення іона кальцію іоном магнію.

У метасоматичних доломітах часто утворюються пори розміром 02-08 мм і каверни розміром більше 10 мм.

Кінцевою стадією катагенетичних перетворень є утворення тріщин.

Тріщинуватість забезпечує зв'язок між пористими ділянками, у ряді випадків уздовж тріщин утворюються порожнечі вилуговування, стилітові шви. Тріщинна порожнеча зазвичай невелика.

Тріщинувата пористість:

$$m_{\text{трещ}} = \frac{V_{\text{трещ}}}{V_{\text{общ}}} \quad (2.3)$$

Де

$V_{\text{трещ}}$ - об'єм тріщини;

$V_{\text{общ}}$ - загальний об'єм породи.

Пористість m_m і проникність k_m чисто тріщинуватих пластів визначається густотою тріщин Γ , геометрією систем тріщин у породі та їх середнім розкриттям δ .

Коефіцієнт проникності ізотропного тріщинуватого пласта виражається через густоту тріщин та їх середнє розкриття відповідно:

$$k_m = \frac{\theta \cdot \Gamma \cdot \delta^3}{12} = \frac{m_m \cdot \delta^2}{12} \quad (2.4)$$

Де

θ - коефіцієнт, що враховує геометрію систем тріщини і приймає значення $1 \leq \theta \leq 3$.

Тріщини, які спостерігаються в карбонатних породах, можуть бути повністю або частково заповнені («заліковані») різними мінеральними речовинами (карбонатом, кварцем, сульфатами тощо), глинистим матеріалом або чорним метаморфізованим органічним речовиною. Усі вони називаються мінеральними. Поряд з ними можуть відрізнятися тріщини, що залишаються порожніми - відкриті. До останніх належать також тріщини, заповнені коричневим або жовтим бітумом (нафтою). Види тріщин представлені рис. 2.4.



Рис. 2.4 – Види тріщин

Розкритість мінеральних тріщин варіюється в дуже широких межах: від часток міліметра до 1 см і більше. Розкритість відкритих тріщин, зазвичай, вбирається у 20-25 мкм, т. е. 0,02-0,025 мм (мікротріщини). По розкритості тріщини поділяються на капілярні (від 0,005 до 0,01 мм або 5-10 мкм), субкапілярні (від 0,01 до 0,05 мм або 10-50 мкм), а також волосні (від 0,05 до 0,15 мм) або 50-50.

Переважає більшість УВ-покладів палеозойського комплексу приурочена до зони контакту палеозойських та мезозойських порід. Найважливішими факторами, що впливають на утворення таких пасток, є різко розчленований ерозійно-тектонічний рельєф, що сформувався внаслідок виборчої ерозії порід та диз'юнктивної тектоніки, а також незгодне залягання порід, що лежать вище. Колекторами служили, зазвичай, гидротермально чи катагенетично змінені породи і кори вивітрювання порід, розвинених на ерозійних виступах [9].

У пізньопалеозойській і раннемезозойській час територія, що розглядається, була відносно піднятою і піддавалася процесам денудації з утворенням площадних кор вивітрювання, потужність яких за даними різних дослідників досягала від 5-20 м на склепіннях до 80-100 м на схилах структур. Наявність численних різномаплітудних і різноорієнтованих тектонічних

порушень, а також їх неодноразова поперемінна активізація, що відбувалася в пермотріасовий, юрський, крейдяний та новітній етапи геологічного розвитку, зумовили дрібноблоковий характер цих виступів, сприяли впровадженню численних проявів, сприяли впровадженню численних інтрузій. опрацювання вихідних порід вторинними процесами Це сприяло формуванню специфічних колекторів поровотріщинного, тріщинного, порово-кавернозно-тріщинного типів та їхньої різкої вертикальної та латеральної диференціації від непроникних різниць до колекторів.

Рівняння дебіту при встановленій фільтрації рідини і газу в деформованому тріщинуватому пласті можна подати як [11]:

$$Q = \frac{2\pi k_m h (p_k - p_c) \left[1 - \frac{3\beta}{2} (p_k - p_c) \right]}{\mu l n \frac{R_k}{r_c}} \quad (2.5)$$

Де

Q - дебіт свердловини;

h - товщина пласта;

p_k - тиск на контурі живлення свердловини;

p_c - тиск на забої свердловини;

R_k - радіус контуру живлення свердловини;

r_c - радіус свердловини;

$\beta = \beta_m l / \delta_0$ - комплексний параметр тріщинуватого середовища;

μ - в'язкість;

δ_0 - розкриття тріщини при тиску p_0 ;

l - середня відстань між тріщинами;

E - модуль Юнга;

σ - коефіцієнт Пуассона;

$\beta_m = \frac{(1-2\sigma)}{E}$ - пружна константа.

Комплексний параметр тріщинуватого середовища, залежить від пружних властивостей і геометрії тріщин. Середня відстань між тріщинами показує, наскільки багато тріщин у пласті і як наслідок, при більшій кількості тріщин фільтрація проходитиме інтенсивніше і дебіт буде більше. Пружна константа показує, наскільки порода стійка до деформацій, і чим менший даний параметр, тим менше порода впливає на стиск тріщини і зниження фільтрації в пласті. Параметр розкритості тріщини при початковому тиску з точки зору фільтрації показує ширину тріщини, через яку проходить флюїд і чим більше вона, тим більша проникність пласта, а отже, і дебіт буде більше.

Проаналізувавши кілька родовищ карбонатних колекторів, можна сказати, що пористість змінюється від 0,003 до 0,33 д. од., а нафтонасиченість у середньому становить 0,6 д. од. (табл.2.5). Проникність 0,2-5,5 мД.

Таблиця 2.5

Фільтраційно-ємнісні властивості пластової нафти родовищ

Родовище	Пласт	Коефіцієнт пористості, буд. од.	Коефіцієнт нафтонасиченості, буд. од.
Південно-Табаганське	M11	0,1	0,6
	M11	0,14	0,74
	M12	0,11	0,62
	M13	0,003	0,9
Північно-Калинове	M	0,16	0,6
	M1	0,07	0,6
Урманське	M1	0,2	0,6
	M1	0,2	0,6
	M	0,33	0,6
Юрубчено-Тохомське	M1(P2)	0,22	0,9

Проведені дослідження керн свердловин на Малоїчській площі, що розкрили палеозойський комплекс порід потужністю 1760 м, показали, що

вапняки відносяться в основному до низькопорових колекторів, а ємнісні властивості визначаються вторинною тріщинуватістю і кавернозністю, роль яких. При цьому якщо значення відкритої пористості зростають від 1 до 10 %, то тріщинна проникність становить $(1,1-86,1) \cdot 10^{-3}$ мкм².

Там, де немає магматичних порід, тріщинна проникність невисока $(0,13-1,20) \cdot 10^{-3}$ мкм². Магматичні породи (діабази, гіалобазальти) у свою чергу непроникні та характеризуються як породи-покришки. Їх вплив на колекторські властивості наочно проявилось при випробуванні свердловини 2 Малоїчська, де в інтервалі 2857-2865 м, що включає тіло діабазових порфіритів (інтервал 2858-2863 м), було отримано приплив нафти дебітом 38 м³/сут.

Малоїчна структура розташована в південно-західній частині Нюрольського басейну і є піднесеною зоною палеозойських утворень на сучасному зрізі, ускладненою поруч вершин. Блоковий характер підкреслюється великими кутами падіння порід поблизу розломів, розмаїттям складу різновікових відкладень, що виходять окремих блоках на доюрську поверхню. У розрізі свердловини 4 Малоїчська за даними промислово-геофізичних досліджень розкритих відкладень палеозою, складених карбонатами верхнього та середнього девону, виділяється кілька продуктивних пластів, які індексуються буквою М та відповідають наступним інтервалам глибин: М1 – 2842-2852 м -2885-2900 м, М4 - 2935-2965 м. У верхньосилурійських карбонатних відкладеннях продуктивний інтервал глибин 4520-4560 м, що індексується буквою С. Пласти М1 і М2 розташовані в зоні контакту палеозойських і мезозойських утворень. У палеозойських відкладеннях є високі значення депресій.

2.2 Ускладнення у карбонатних колекторах розробки родовища

Важливими ускладненнями розробки нафтових родовищ з карбонатним типом колектора є: мала пористість, тріщинуватість, неоднорідність. Так, при

природному режимі видобутку нафтовіддача досягає 12-15%, а при застосуванні методів інтенсифікації не перевищує 25-29%.

У карбонатних колекторах спостерігається явище анізотропії тріщин, що, у свою чергу, призводить до швидкої обводненості продукції. При розробці об'єктів однією з причин прискореного обводнення є високопроникні пропластки та системи тріщин, якими відбувається прорив пластових і вод, що нагнітаються. Експлуатація окремих свердловин і поклади в цілому також може ускладнюватись наявністю підшовної води, яка конусоподібно підтягується до привибійної зони і надходить у свердловину, що призводить до передчасного обводнення і, як наслідок, зменшення нафтовіддачі [12]. Для карбонатних колекторів характерна шарувата будова продуктивних товщ, неоднорідність по товщині, тому в процесі розробки відбувається нерівномірне пошарове вироблення запасів.

Зниження проникності колектора веде до ускладнень у процесі розробки. Однією з причин є деформація колектора, а саме змикання природних тріщин при зниженні забійних та пластових тисків у процесі розробки. Іншою причиною є забруднення привибійної зони. У початкових пластових умовах внаслідок пружності порід продуктивного пласта і рідин, що його насичують, тріщини ці знаходяться в розкритому стані і не перешкоджають руху рідини. Однак при розтині пласта або при видобутку створюються високі депресії на привибійну зону, і відбувається змикання пластових тріщин біля стовбура свердловини. Зі збільшенням депресії на пласт відбувається зниження коефіцієнта продуктивності. Після зниження депресії порода набуває початкового стану та фільтраційні характеристики відновлюються. Занадто високі депресії можуть призводити і до незворотних змін у скелеті породи. Такі процеси відбуваються при пластичних деформаціях колекторів, що виникають, коли ефективний гірський тиск перевищує межу плинності породи. Так при збільшенні депресії посилюється вплив на породу і активніше відбувається винесення частинок, що відокремилися, внаслідок

невеликих руйнувань породи, що тягне за собою більш інтенсивне засмічення фільтраційних каналів, а потім зниження проникності ПЗП.

У привибійній зоні пласта спостерігаються найбільші перепади тиску. Внаслідок впливу мінералізації та високих тисків, відбувається процес інтенсивного випадання та скупчення солей у ПЗП. За рахунок мінералізації відбувається формування дрібних зародків (асоціатів). З досягненням граничної для даних умов насиченості на поверхні обладнання або обсягом рідини практично миттєво виникає безліч дрібних частинок, які виступають центром кристалізації. Процес дифузії розчиненої речовини з об'єму розчину поверхні асоціатів є причиною зростання кристалів. Значний вплив на їх зростання надають: ступінь перенасиченості розчинів, початкова величина зародка, наявність домішок, шорсткість поверхні обладнання і т.д.

Утворення відкладень CaCO_3 відбувається внаслідок:

- а) падіння тиску, при якому вивільняється CO_2 ;
- б) зміна тиску або температури, що призводить до погіршення розчинності. З підвищенням температури розчинність карбонату кальцію погіршується та утворюється осад;
- в) змішування двох рідин, несумісних по хімічному складу;
- г) збільшення рН (водневого показника) пластових та стічних вод;
- д) застосування ПАР, інгібіторів та інших хімічних елементів, сприяють кристалізації кальциту.

Карбонат кальцію (CaCO_3) можна розкласти на вуглекислий газ (CO_2) і негашене вапно (CaO) при нагріванні до 900-1000 °С або реакції з вуглецем при температурі 1500 °С утворюючи карбід кальцію (CaC_2) і чадний газ (CO). Природно, за умов пласта, створення таких температур проблематично. Одним із способів перетворення нерозчинної солі є збільшення концентрації вуглекислого газу (CO_2), який спільно з водою вступає в реакцію з карбонатом кальцію (CaCO_3) та утворює розчин гідрокарбонату кальцію ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), проте при зменшенні вуглекислого газу реакція протікає у зворотному напрямку.

Тому найбільш простим та надійним способом розчинення відкладень CaCO_3 є обробка соляною кислотою.

Коли відкладення утворюються у пласті, вони закупорюють пори, зменшуючи таким чином проникність. Відкладення у пласті утворюються у безпосередній близькості від свердловини, при цьому зменшується проникність привибійної зони свердловин.

Однією з причин ускладнень процесу розробки карбонатних колекторів західних регіонів є фізико-хімічні властивості нафти. Нафта є високопарафіністою, що призводить до утворення АСПВ на стінках НКТ, через це відбувається зменшення діаметра НКТ та створюється опір руху потоку флюїду.

Однією з ознак визначальних забруднення ПЗП є скінфактор. Кислотні обробки проводяться при значеннях скін-фактора від -1 до 5. Межа результату, якого можна досягти від кислотної обробки, може бути $S = -3$. Типові значення скін-фактора представлені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Типові значення скін фактору

Значення	Інтерпретація
$S > 10$	Механічні проблеми
$S - 5$	Серйозні забруднення ПЗП
$S - 1-2$	Помірні забруднення ПЗП
$S > 0$	Забруднення ПЗП
$S < 0$	Інтенсифікація притоку
$S - -3$	Межа для кислотної обробки
$S - -4$	Гарний ГРП
$S - -5,5$	Нижня межа

Основними причинами забруднення ПЗП у видобувних свердловинах є [13]:

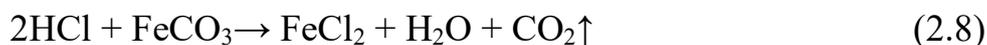
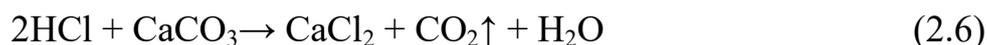
- проникнення бурового розчину та блокування порових каналів;
- набухання глин при контакті з фільтратом бурового розчину;
- хімічне осадження – наприклад, випадання CaCO₃ та BaSO₄;
- просування піщаних частинок до стовбура свердловини;
- стиснення породи;
- ушкодження породи при перфорації;
- відхилення від ламінарної течії (переважно в газових свердловинах).

2.2.1 Механізм впливу кислотних складів у пластових умовах карбонатних колекторів

Для обробки карбонатного пласта до розчинів висувають ряд специфічних вимог. Основні вимоги до рідин:

- висока розчинна здатність;
- можливість регулювати швидкість їхньої реакції з карбонатною породою;
- продукти реакції не повинні забруднювати ПЗП та легко видалятися з порового простору;
- технологічність приготування та зберігання у промислових умовах.

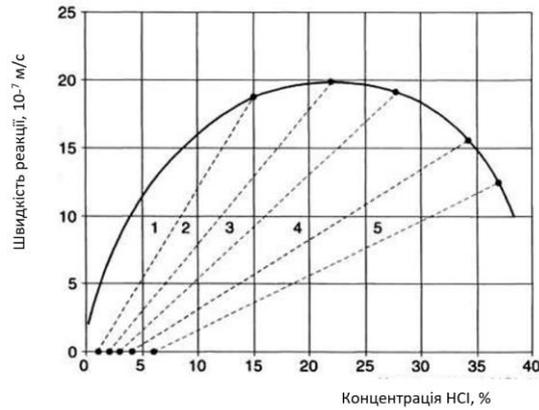
Найбільш широко для обробки карбонатних колекторів використовується соляна кислота, реакція якої з породою протікає за такими рівняннями (2.6-2.8):



Хлористий кальцій (CaCl_2) і хлористий магній (MgCl_2) - це солі, добре розчинні у воді - носії кислоти, що утворюється в результаті реакції. CO_2 , що виділяється при цьому, має позитивний вплив на ефективність обробки, оскільки має хороші нафтовитискаючі властивості, а також легкі видаляється зі свердловини, або при відповідному тиску (понад 7,6 МПа) розчиняється в тій же воді.

Для обробки свердловин зазвичай готується розчин соляної кислоти з вмістом чистої HCl в межах 10 - 15%, так як при великому її вмісті нейтралізований розчин виходить дуже в'язким, що ускладнює його вихід із пор пласта. Температура замерзання 15% розчину HCl дорівнює мінус 32,8 °С.

Від концентрації кислоти залежить як коефіцієнт розчинності, а й швидкість реакції. В результаті експериментальних досліджень було встановлено, що швидкість реакції розчинів соляної кислоти зростає зі збільшенням концентрації до 24-28%. Поза цими межами швидкість реакції зменшується (залежність наведена рис. 2.6). Швидкість реакції різко зменшується з відпрацювання кислоти. Швидкість реакції 15% соляної кислоти при початковій концентрації майже вдвічі вища, ніж при еквівалентній концентрації 15% соляної кислоти, отриманої при відпрацюванні 28% соляної кислоти. Чим вище початкова концентрація кислоти, тим нижче швидкість реакції кислоти при її частковому відпрацюванні. Це зменшення швидкості реакції кислоти пояснюється уповільнюючим впливом іонів продуктів реакції, що насичують розчин у міру відпрацьовування більш концентрованої кислоти. Тому при використанні еквівалентної кількості кислоти двох різних концентрацій час відпрацювання сильнішою кислотою буде більшим.



1 - концентрація $C_0 = 15\%$; 2 - $C_0 = 22\%$; 3 - $C_0 = 28\%$; 4 - $C_0 = 34\%$; 5 - $C_0 = 37\%$

Рис. 2.6 – Вплив концентрації соляної кислоти на швидкість реакції з карбонатними породами

Високі концентрації розчину призводять до утворення насичених з підвищеною в'язкістю розчинів CaCl_2 та MgCl_2 , які важко витягуються із пласта при освоєнні. Крім того, суттєво зростає корозія обладнання та труб.

Наприклад, час відпрацювання 28% соляної кислоти за інших рівних умов буде вдвічі більшим, ніж еквівалентної кількості 15% кислоти. При використанні сильнішої кислоти спостерігається збільшення ширини тріщин і каналів, а це призводить до зменшення відношення поперечного перерізу до обсягу, тобто. площа поверхні, доступна для обробки, зменшується і, отже, час відпрацювання кислоти зростає. Таким чином, час відпрацювання 28% соляної кислоти фактично збільшується більш ніж у п'ять разів, порівняно з часом відпрацювання 15% кислоти [14].

Соляна кислота при взаємодії з вапняком утворює хлористий кальцій та двоокис вуглецю, які впливають на ефективність обробок. При рівних обсягах концентрована кислота утворює більшу кількість цих продуктів, оскільки 28% кислота розчиняє вдвічі більше вапняку, ніж 15%, отже, і концентрація продуктів реакції вдвічі більше.

Швидкість реакції соляної кислоти з карбонатною породою сильно зростає при підвищенні температури реакції, тому звичайну соляну кислоту не

використовують за температури вище 80 °С. Висока швидкість реакції негативно позначається на ефективності обробки, оскільки вся кислота витрачається в безпосередній близькості від стовбура свердловини і не збільшує проникність ПЗП належним чином. Для зниження швидкості реакції з породою в робочі розчини соляної кислоти додають поверхнево-активні речовини (ПАР), які пригнічують поверхню породи від інтенсивного впливу соляної кислоти, перешкоджають їй передчасному виробленню і сприяють глибшому проникненню в пласт.

Перевагами соляної кислоти є відносно невисока вартість та широка доступність. До недоліків відноситься висока швидкість реакції з породою при пластових температурах, яка не дозволяє кислоті проникнути глибоко в пласт, висока швидкість корозії сталі, що призводить до передчасного зносу обладнання, утворення опадів при контакті з пластовими флюїдами, а так само вторинне осадоутворення з іонами тривалентного заліза і високе міжфазне натягування кислот.

Крім соляної кислоти, як технологічні рідини для обробки карбонатних колекторів можуть застосовуватися карбонові кислоти (2.10). Однією з їх переваг є нижча швидкість реакції з карбонатною породою порівняно з соляною кислотою, що забезпечує значне збільшення тривалості дії кислотного складу за підвищених температур, сприяє глибокому проникненню кислотного складу в пласт і як наслідок – збільшує ефективність кислотної обробки [15].

В даний час розроблені склади на основі складних ефірів карбонових кислот, що повільно розкладаються в пластових умовах з виділенням кислоти (2.9):



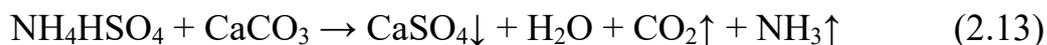
Реакція гідролізу оборотна і протікає у присутності іонів водню, тому до складу зазвичай додають 1-5% соляної кислоти.

Карбонові кислоти і склади, що генерують карбонові кислоти в пластових умовах, використовуються для обробки високотемпературних і низькопроникних карбонатних колекторів, використання соляної кислоти для обробки яких виявляється неефективним через занадто високу швидкість реакції з карбонатами.

Для обробки низькотемпературних колекторів з невисокою проникністю використовують сульфамінову кислоту (2.11), чия низька швидкість реакції з породою дозволяє складу проникати глибоко в пласт:



При температурі вище 60 °C відбувається гідроліз сульфамінової кислоти з утворенням гідросульфату амонію (2.12), який у ході подальших перетворень утворює малорозчинний сульфат кальцію (2.13), що переходить у гіпс в результаті гідратування (2.14):



При обробках сульфатсодержащих карбонатних колекторів розчинами соляної кислоти слід в кислотні склади вводити присадки хлористого кальцію або кухонної солі, а також сульфатів калію та магнію. Ці присадки знижують швидкість розчинення колекторів, що містять сульфат, і попереджають випадання в осад гіпсу або безводного сірчаноокислого кальцію.

Крім нижчої швидкості реакції з карбонатами, перевагами карбонових та сульфамінової кислот є їх нижча корозійна активність. До переваг сульфамінової кислоти відноситься можливість зберігати її в сухому вигляді, що знижує ризик забруднення кислотного складу солями заліза, що утворюються при тривалому зберіганні рідких кислот. Швидкість корозії сталі для сульфамінової кислоти значно нижча, ніж у соляної, тому її рекомендовано використовувати при багаторазових кислотних обробках.

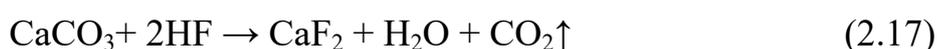
Використання сірчаної кислоти для обробки карбонатних колекторів пов'язане з рядом моментів, які слід враховувати під час обробки.

З одного боку, сірчана кислота досить активно реагує з вуглеводнями ароматичного ряду, в результаті чого в пористому середовищі утворюються аніонактивні ПАР: алкілсульфо кислоти, алкіларилсульфо кислоти, які сприяють поліпшенню нафтовідмивних властивостей закачується за H_2SO_4 води.



З іншого боку, застосування сірчаної кислоти призводить до випадання гіпсу в свердловині та промислового устаткуванні (2.15, 2.16), а також підвищеному корозійному руйнуванню окремих вузлів обладнання та цементного каменю. Крім того, H_2SO_4 в 1,5 рази важче за HCl , що ускладнює її транспортування. Принципова умова застосування закачування H_2SO_4 з погляду корозії - неприпустимість надходження розведеної кислоти до вибоїв свердловин, що видобувають [15].

Використання плавикової кислоти в процесі кислотної обробки карбонатних колекторів призводить до утворення нерозчинного осаду фтористого кальцію, (2.17):



У свою чергу, осад, що вийшов, негативно впливатиме на процес кислотної обробки, а саме закупорювати пори, тому цю кислоту не рекомендують використовувати в карбонатних колекторах.

Вплив термобаричних умов на проведення кислотних обробок. На швидкість перебігу реакції при соляно-кислотній обробці впливає тиск закачування, температура, склад породи та концентрація кислоти в розчині. Залежно від речовинного складу карбонатної породи швидкість реакції зростає в 16-25 разів при підвищенні температури від 20 до 60 °С. На рис. 2.7 представлена графічна залежність впливу тиску та температури на час нейтралізації кислотного розчину.

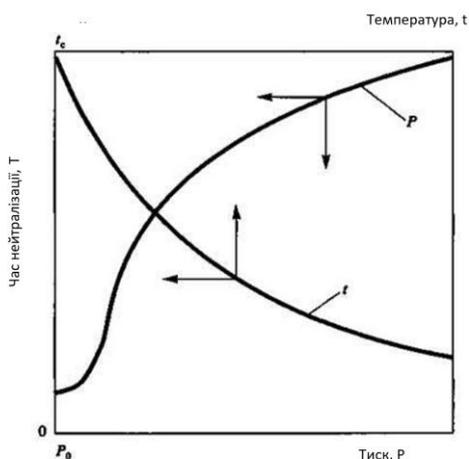


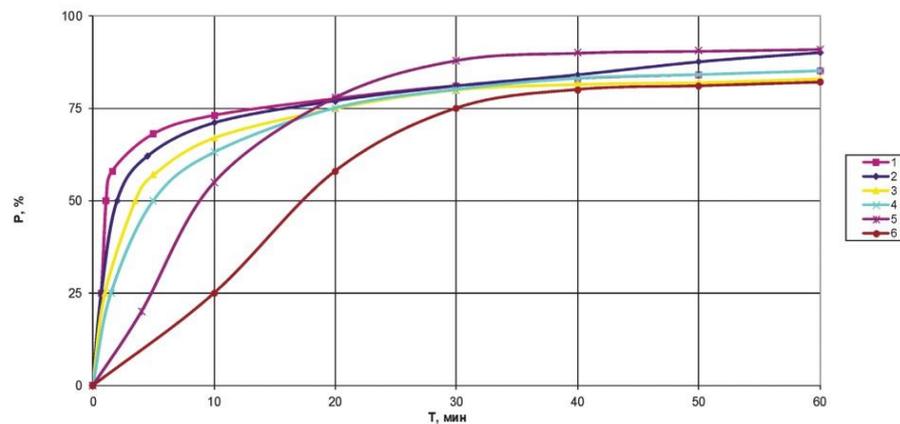
Рис. 2.7 – Графічна залежність впливу тиску та температури на час нейтралізації кислотного розчину $t_c - 20$ °С; P_0 – атмосферний тиск

Підвищення тиску призводить до зниження швидкості реакції. Час нейтралізації 75% об'єму кислотного розчину збільшується у 7-10 разів при підвищенні тиску з 0,1 МПа до 0,7 МПа. При збільшенні тиску від 0,7 до 1 МПа час нейтралізації збільшується в 30-35 разів, а при збільшенні тиску з 2 МПа до 6 МПа швидкість реакції знижується в 70 разів [16].

Час нейтралізації кислотних розчинів різко знижується (в 4 рази і більше) у міру збільшення пластової температури від 25°С до 90–100°С і вище,

обмежуючи тим самим глибину проникнення кислотного розчину в пласт в активному стані, що призводить до зниження ефективності обробки карбонатних глибокозалягаючих пластів.

Дослідження кінетики розчинення карбонатів у кислотних розчинах показало, що найбільша швидкість розчинення породи спостерігається протягом перших 25-30 хвилин і ступінь розчинності карбонатів для 14%-ї соляної кислоти становить 79,0%, для 14%-ї соляної кислоти + 12%-го 708 Через 30 хвилин ступінь розчинності карбонатів різко сповільнюється, а через годину процес практично припиняється, і обсяг розчиненої речовини сягає 80-90% вихідного [17].



1 - 14% HCl; 2 - 14% HCl+12% CaCl₂; 3 - 14% HCl+2,5% КМЦ; 4 - 14% HCl+2% ВП-4; 5 - 14% HCl + 2% ОП-10; 6 - 14% HCl + 1% сульфенол

Рис. 2.8 - Залежність розчинності карбонатної породи від часу та складу кислоти

Максимальна глибина проникнення кислоти в активному стані функціонально пов'язана з об'ємною швидкістю її закачування в пласт, часом нейтралізації кислотного розчину та питомим об'ємом кислоти, що закачується:

$$V = Q \cdot T = \pi \cdot (r_p^2 - r_c^2) \cdot h \cdot m \quad (2.18)$$

При цьому глибина проникнення кислоти в пласт визначається із співвідношення:

$$L = (r_p - r_c) = \frac{Q \cdot T}{\pi \cdot m \cdot h \cdot (r_p + r_c)} \quad (2.19)$$

де,

m – пористість пласта частках одиниці;

h – товщина оброблюваного інтервалу пласта;

Q – об'ємна швидкість закачування кислоти у пласт;

r_p - радіус проникнення кислоти в пласт в активному стані;

r_c - радіус свердловини;

T – час нейтралізації кислоти;

V – обсяг закачуваної кислоти пласт;

$\pi = 3,14$.

Час нейтралізації кислоти показує час, протягом якого кислота повністю прореагувала з породою із виділенням продуктів реакції. Тривалість перебування кислотного розчину в пласті так само залежить і від температури:

- при $t = 20-30$ ° C $T = 1,5-2,0$ години;
- при $t = 30-50$ ° C $T = 1,0$ год;
- при $t=51-75$ °C $T=0,5-1,0$ год;
- при $t=75-100$ °C $T=0,5$ год;
- при $t>100$ °C $T<0,5$ год.

2.3 Вибір і обґрунтування застосування технологій інтенсифікації притоку на карбонатних колекторах

2.3.1 Вибір ділянки для проведення кислотної обробки

Важливими критеріями при підборі свердловин-кандидатів на проведення кислотної обробки є зниження дебітів та продуктивності, збільшення скіну та обводненості. Основні параметри вибору свердловин-кандидатів представлені у табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Критерії вибору свердловин-кандидатів щодо кислотної обробки

№	Параметр роботи свердловин	Бажаний діапазон
1	Поточний пластовий тиск у частках від гідростатичного, %	понад 60
2	Поточний пластовий тиск у частках від початкового, %	понад 60
3	Поточний дебіт рідини, м ³ /сут. (Для отримання рентабельного приросту)	> 10
4	Поточний дебіт нафти, т/сут. (Для отримання рентабельного приросту)	> 5
5	Зниження дебіту рідини за останні 9-12 місяців або від останнього ПРС, %	понад 30%
6	Зниження дебіту нафти за останні 9-12 місяців або від останнього ПРС	понад 30%
7	Зростання обводненості за останні 9-12 місяців або від останнього ПРС	менше 10%
9	Відстань до ізолюваного обводненого інтервалу нижче об'єкта обробки, м	більше 10
10	Відстань до ізолюваного обводненого інтервалу вище за об'єкт обробки, м	більше 10
11	Відстань до водоносного (газоносного) горизонту, м	понад 15
12	Негерметичність експлуатаційної колони	відсутні.
13	Обводненість, %	менше 80%

14	Наявність ізольованого обводненого інтервалу	відсутні.
15	Зниження коефіцієнта продуктивності від початкового	Понад 30%
16	Скін-фактор	Від -1 до 5

При виборі свердловин-кандидатів дивляться на дебіт рідини та нафти, щоб сама кислотна обробка була рентабельна. З дуже низькими дебітами, можливий приріст не зможе покрити витрати компанії на обробку.

Відсутність негерметичності експлуатаційної колони необхідна, щоб уникнути перетоків і на незаплановані ділянки пласта. Також вибір ділянки з відсутнім ізольованим обводненим інтервалом, запобігає можливої взаємодії кислоти з ізольованим матеріалом та його руйнування.

Також акцент роблять на обводненості свердловини, яка має бути менше 80%. Це пов'язано з тим, що після кислотної обробки можливе різке підвищення обводненості через збільшення проникності, що може призвести до зменшення терміну рентабельної роботи свердловини.

Збільшення скін-фактора від -1 до 5, а також зниження дебіту рідини, нафти, коефіцієнта продуктивності говорить нам про те, що сталося засмічення привибійної зони пласта. А зростання низьке зростання обводненості каже, що причина зниження дебіту нафти не через прорив води.

Обмеження щодо відстані ізольованих обводнених інтервалів зверху та знизу, а також відстань до водоносного (газоносного) горизонту знижують ризики зниження ефекту від обробки, зв'язку з проривом води або газу до свердловини.

Таблиця 2.6

Вихідні дані свердловини - кандидата на родовищі X

Параметр	Індекс	Значення	Од. із.
Щільність нафти пл. ум.	ρ_H	855	кг/м ³
Щільність води у пл. ум.	ρ_B	1027	кг/м ³
Внутрішній діаметр експлуатаційної колони	$D_{ек}$	168	мм

Глибина покрівлі пласта	H	3009	м
Внутрішній діаметр НКТ	$d_{\text{нкт}}$	62	мм
Пористість	m	0,1	частки од.
Проникність пласта	k	0,019	мкм ²
Ефективна товщина пласта	h	15,8	м
Пластовий тиск	P_c	31,8	МПа
Вибійний тиск	P_{wf}	23,6	МПа
Тиск насичення	P_b	18	МПа
Радіус контуру	R_c	280	м
В'язкість нафти	μ_n	1,36	мПа * с
Об'ємний коефіцієнт нафти	b	1,28	частки од.
Дебіт нафти	Q	62	м ³ /добу
Радіус свердловини	rw	0,2	м
Кут експонентів		0,0004	
Щільність кислотного розчину HCL 100%	$\rho_{\text{кис}}$	1072	кг/м ³
Щільність доломіту	$\rho_{\text{дол}}$	2500	кг/м ³
Щільність вапняку	$\rho_{\text{вивч}}$	2000	кг/м ³
Концентрація HCL		0,15	частки
Товарна концентрація HCL		0,275	частки
Швидкість закачування	q	6,85	л/сек
Стехнометричний коефіцієнт для вапняку	$\vartheta_{\text{вивч}}$	4	
Стехнометричний коефіцієнт для доломіту	$\vartheta_{\text{дол}}$	2	
Концентрація вапняку	y	80,29	%
Концентрація доломіту	x	19,41	%

2.3.2 Методика розрахунку кислотної обробки карбонатного колектора

Загалом обсяги кислотного розчину для стандартних кислотних обробок, для 1 м потужності продуктивного пласта, рекомендуються такі (в м³).

Для первинних обробок пористих порід [18]: Малопроникних, тонкопористих - 0,4-0,6 м³; високопроникних – 0,6-1,0 м³.

Для вторинних обробок пористих порід: малопроникних, тонкопористих – 0,6-1,0 м³;
високопроникних – 1,0 – 1,5 м³.

Для первинних обробок тріщинуватих порід - 0,6-0,8 м³.

Для вторинних обробок тріщинуватих порід – 1,0 – 1,5 м³.

Норма витрати кислотного розчину v_p становить 1 м³ на 1 метр оброблюваної товщини пласта. Тоді об'єм розчину соляної кислоти

(V_{HCL}):

$$V_{HCL} = v_p \cdot h \quad (2.20)$$

Де

v_p – норма витрати кислотного розчину, м³/м;

h – інтервал продуктивного пласта, що обробляється кислотним розчином, м.

Об'єм товарної кислоти (м³):

$$V_{HCL} = \frac{V_K \cdot \chi_p \cdot (5,09 \cdot \chi_p + 999)}{\chi_K \cdot (5,09 \cdot \chi_K + 999)} \quad (2.21)$$

де χ_p χ_K – відповідно об'ємні частки (концентрації) розчину соляної кислоти та товарної кислоти, %.

Як хімічні реагенти при солянокислотній обробці використовують стабілізатори (сповільнювачі реакції), інгібітори корозії та інтенсифікатори. Як правило, у соляній кислоті міститься до 0,4% сірчаної кислоти, яку нейтралізують добавкою хлористого барію, кількість якого $G_{\text{х.б.}}$ розраховують за формулою (кг) [19]:

$$G_{\text{х.б.}} = 21,3 \cdot V_{\text{HCL}} \cdot \left(\frac{a \cdot \chi_{\text{р}}}{\chi_{\text{к}}} - 0,02 \right) \quad (2.22)$$

де, 21,3 – маса хлористого барію (кг), необхідного для нейтралізації 10 кг сірчаної кислоти;

$\chi_{\text{р}}$ $\chi_{\text{к}}$ – відповідно об'ємні частки (концентрації) розчину соляної кислоти та товарної кислоти, %;

$\frac{a \cdot \chi_{\text{р}}}{\chi_{\text{к}}}$ – об'ємна частка сірчаної кислоти у приготовленому розчині;

a – об'ємна частка сірчаної кислоти в товарній соляній кислоті, % ($a = 0,4\%$)

Звичайний розчин HCl виснажується досить швидко (близько 30 хвилин) і рН зростає, прагнучи до значення 7. Одночасно з нейтралізацією кислотного розчину частина хлоридів, що утворилися, залишається в розчиненому стані, а інша частина утворює сполуки гідроксиду заліза [Fe(OH)₃] і алюмінію [Al(OH)₃], так [Al(OH)₃] здатних помітно знизити проникність оброблюваної зони. З цієї причини після СКО замість очікуваного збільшення дебіту іноді відбувається повне блокування ПЗП.

Для запобігання вторинному випаданню опадів у пласті, кислотний розчин вводиться стабілізатор. Як стабілізатор окисних сполук заліза використовуємо оцтову кислоту, об'єм якої визначимо за формулою:

$$V_{\text{ук}} = \frac{b_{\text{ук}} \cdot V_{\text{HCL}}}{C_{\text{ук}}} \quad (2.23)$$

де,

$b_{ук}$ - норма добавки 100% оцтової кислоти (для уповільнення кислотного розчину $b_{ук} = 3\%$);

$C_{ук}$ - об'ємна частка товарної кислоти (80%).

Як інгібітор корозії вибираємо реагент В-2, обсяг якого визначимо за формулою:

$$V_i = \frac{b_i \cdot V_{HCL}}{C_i} \quad (2.24)$$

де b_i – норма добавки інгібітора (для реагенту В-2 $b_i = 0,2\%$);

C_i – об'ємна частка товарного інгібітору (100%).

Для зниження високого поверхневого та міжфазного натягу при обробці ПЗП рекомендується застосовувати поверхнево-активні кислотні розчини, додаванням до них суміші неіоногенних та аніоногенних ПАВ у кількості до 1%. Даний захід дає можливість кислоті повніше проникати в порожнечі пористого середовища і в тонкі канали продуктивного пласта, видаляє нафту з поверхні породи і забезпечує хороший контакт між кислотою і породою. Обсяг інтенсифікатора (використовується Марвелан) визначимо за такою формулою:

$$V_{ін} = \frac{b_{ін} \cdot V_{HCL}}{100} \quad (2.24)$$

де, $b_{ін}$ - норма добавки інтенсифікатора (для Марвелана 0,3%)

При густині хлористого барію 4000 кг/м³ його обсяг визначаємо за формулою:

$$V_{х.б.} = \frac{G_{х.б.}}{\rho_{х.б.}} \quad (2.25)$$

Об'єм води для приготування кислотного розчину:

$$V_B = V_{HCL} - V_K - (V_{x.б.} + V_{УК} + V_U + V_{HH}) \quad (2.26)$$

Транспортування кислотного розчину здійснюється продавкою нафти у об'ємі викидної лінії довжиною 25 метрів та НКТ.

Об'єм викидної лінії (м³):

$$V_{ВИК} = 0,785 \cdot d_{ВИК}^2 \cdot l_{ВИК} \quad (2.27)$$

де

$d_{ВИК}$ - зовнішній діаметр викидних ліній, м;

$l_{ВИК}$ - довжина викидних ліній, м.

Об'єм НКТ:

$$V_{НКТ} = 0,785 \cdot d_{НКТ}^2 \cdot l_{НКТ} \quad (2.28)$$

Загальний об'єм продавочної нафти становить:

$$V_{П} = V_{ВИК} + V_{НКТ}$$

Тривалість нагнітання і продавки у пласт розчину:

$$\tau = \frac{(V_{HCL} + V_{П}) \cdot 10^3}{q \cdot 3600} \quad (2.29)$$

де

q - подача насоса на вибраній швидкості, л/с.

Для визначення ефективності проведення кислотної обробки необхідно розрахувати скін-фактор до її проведення. Виходячи з умови $P_c > P_b$, $P_{wf} \leq P_b$, можна визначити скін-фактор свердловини-кандидата до проведення соляно-кислотної обробки за формулою:

$$S = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot h \cdot (P_c - P_{wf})}{\mu \cdot b \cdot Q} - \ln \left(\frac{R_c}{r_w} \right) \quad (2.30)$$

Де

S - скін-фактор, частки од.;

k - проникність пласта, м²;

h - товщина пласта, м;

μ - в'язкість нафти, Па·с;

b - об'ємний коефіцієнт нафти, частки од.;

Q - дебіт свердловини, м³/добу;

R_c - радіус контуру, м;

r_w - радіус свердловини, м.

Для проведення соляно-кислотної обробки привибійної зони свердловин застосовується кислотний склад з концентрацією соляної кислоти, $a = 12\%$, щільність соляної кислоти за стандартної температури дорівнює 1000,0 кг/м³. У табл. 2.7 представлені коефіцієнти дифузії для розчину соляної кислоти за різних концентрацій.

Таблиця 2.7

Коефіцієнт дифузії для HCl

Масова концентрація HCl, %	Коефіцієнт дифузії $D \cdot 10^{-9}$, м ² /с
5	0,169
12	0,190
15	0,212
20	0,235

У зв'язку з тим, що колектор рідко складається з одного матеріалу, необхідно розрахувати молярну концентрацію колектора, що складається з доломіту та вапняку, за формулою:

$$C_{\text{кол}} = \frac{C_{\text{дол}} \cdot x + C_{\text{вап}} \cdot y}{x + y}$$

де $C_{\text{кол}}$ – молярна концентрація колектора, моль/л;

x – частка доломіту в породі, частки од.;

y – частка вапняку в породі, частки од.;

$C_{\text{дол}}$ – молярна концентрація доломіту, моль/л;

$C_{\text{вап}}$ – молярна концентрація вапняку, моль/л.

Молярна концентрація доломіту в породі за його вмісту $C_{\text{дол}} = 100\%$ визначається за формулою:

$$C_{\text{дол}} = \frac{\rho_{\text{дол}}}{M_{\text{дол}}}$$

де $C_{\text{дол}}$ – концентрація доломіту, моль/л;

$\rho_{\text{дол}}$ – густина доломіту, кг/м³;

$M_{\text{дол}}$ – молярна маса доломіту, г/моль.

Молярна концентрація вапняку в породі за його вмісту $C_{\text{вап}} = 100\%$ за формулою:

$$C_{\text{ізв}} = \frac{\rho_{\text{ізв}}}{M_{\text{ізв}}} \quad (2.31)$$

Де

$C_{\text{ізв}}$ - концентрація доломіту, моль/л;

$\rho_{\text{ізв}}$ - густина доломіту, кг/м³;

$M_{\text{ізв}}$ - молярна маса доломіту, г/моль.

Стехіометричний коефіцієнт породи, необхідний для розрахунку кислотного числа, розраховується за формулою [20]:

$$\vartheta = \frac{\vartheta_{\text{дол}} \cdot x + \vartheta_{\text{ізв}} \cdot y}{x + y} \quad (2.31)$$

Де ϑ – стехіометричний коефіцієнт породи, частки од.

Молярна концентрація соляної кислоти розраховується за формулою:

$$C_{\text{HCl}} = \frac{\rho_{\text{HCl}} \cdot \alpha}{M_{\text{HCl}}} \quad (2.32)$$

Де

C_{HCl} - концентрація соляної кислоти, моль/л;

ρ_{HCl} - густина соляної кислоти за нормальних умов, кг/м³;

α - концентрація соляної кислоти в розчині, частки од.;

M_{HCl} - молярна маса соляної кислоти, г/моль.

Кислотне число, необхідне для розрахунку зміни скін-фактора, визначається за формулою:

$$A_c = \frac{m \cdot C_{\text{HCl}}}{C_{\text{кол}} \cdot \vartheta} \quad (2.33)$$

Де

A_c - кислотне число, частки од.;

m - пористість, частки од.

Коефіцієнт фрактальної розмірності d для колектора розраховується за формулою:

$$d = \frac{d_{\text{дол}} \cdot x + d_{\text{ізв}} \cdot y}{x + y} \quad (2.34)$$

Де

d - коефіцієнт фрактальної розмірності для колектора, частки од.;

$d_{\text{дол}}$ - коефіцієнт фрактальної розмірності для доломіту, частки од.;

$d_{\text{ізв}}$ - коефіцієнт фрактальної розмірності для вапняку, частки од.

$$N_{\text{Pe}} = \frac{q}{D \cdot h} \quad (2.35)$$

Де

N_{Pe} - число Пекле, частки од.;

q - темп закачування кислотного складу, м³/с;

D - коефіцієнт дифузії, м²/с.

Для визначення ефективності проведення соляно-кислотної обробки розрахуємо зміну скін-фактора після її проведення за формулою:

$$\Delta S = \frac{-1}{d} \ln\left(1 + A_c \cdot N_{\text{Pe}}^{-\frac{1}{3}} \cdot \frac{b \cdot V_{\text{кисл}}}{\pi \cdot h \cdot m \cdot r_w^d}\right) \quad (2.36)$$

де ΔS – змінення скін-фактора після проведення СКО, частки од.

Виконаємо розрахунок дебіту після проведення СКО за формулою:

$$Q_{\text{СКО}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot h \cdot (P_c - P_{wf})}{\mu \cdot B \cdot \ln\left(\frac{r_c}{r_w}\right) + S + \Delta S} \quad (2.37)$$

Тривалість технологічного ефекту після обробки розраховується за формулою:

$$t = \frac{\ln\left(\frac{Q_{\text{після}}}{Q}\right)}{-\alpha} \quad (2.38)$$

Де

t - тривалість технологічного ефекту, діб;

Q - величина дебіту за ГДІС, м³/добу.

Додатковий об'єм нафти, отриманий за рахунок проведення СКО, розраховується за формулою:

$$\Delta V_H = (Q_{\text{СКО}} - Q) \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot (1 - e^{-\alpha t}) \quad (2.39)$$

Де

ΔV_H - додатковий об'єм нафти, м³;

$Q_{\text{СКО}}$ - приріст дебіту після проведення СКО, м³/добу;

α - стала, що характеризує швидкість падіння дебіту.

Отримані результати розрахунків представлені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Результати розрахунків соляно-кислотної обробки

Показники	Значення	Одиниці виміру
-----------	----------	----------------

Об'єм розчину соляної кислоти	15,8	м3
Об'єм товарної кислоти	8,14	м3
Кількість хлористого барію	66,7	кг
Об'єм оцтової кислоти	0,6	м3
Об'єм інгібітора корозії	0,03	м3
Об'єм інтенсифікатора	0,05	м3
Об'єм хлористого барію	0,017	м3
Об'єм води	6,98	м3
Об'єм викидної лінії	0,05	м3
Обсяг НКТ	9,08	м3
Об'єм продавочної рідини	9,13	м3
Час обробки	1	годинник
Скін-фактор до обробки	5,13	
Молярна концентрація колектора	18,75	Міль/л
Молярна концентрація доломіту	13,56	Міль/л
Молярна концентрація вапняку	20	Міль/л
Стехіометричний коефіцієнт породи	2,4	Частки од.
Молярна концентрація соляної кислоти	4,4	Міль/л
Кислотне число	0,01	Частки од.
Коефіцієнт фрактальної розмірності	1,9	Частки од.
Число Пекле	2045020	Частки од.
Зміна скін-фактора після обробки	-2,36	
Дебіт після обробки	76,6	м3/сут.
Час ефекту обробки	529	доба
Об'єм дод. Нафта	6972	м3

2.3.3 Інтерпретація результатів соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів

Оцінити результати проведення СКО можна за допомогою гідродинамічних досліджень свердловин та трасерних досліджень.

Так у гідродинамічних дослідженнях використовують графік КВТ, за допомогою якого можна оцінити параметри віддаленої зони пласта, а також

дізнатися, наскільки змінив скін фактор після СКО, проникність, та параметри тріщини, утвореної в результаті кислотної обробки.

Спочатку перед проведенням КВТ свердловину зупиняють для спуску глибинного манометра, а потім запускають на нетривалий термін роботи і знову зупиняють свердловину для виміру кривої відновлення тиску [21]. На рис. 2.9 представлено технологічну схему дослідження свердловини з реєстрацією КВТ.

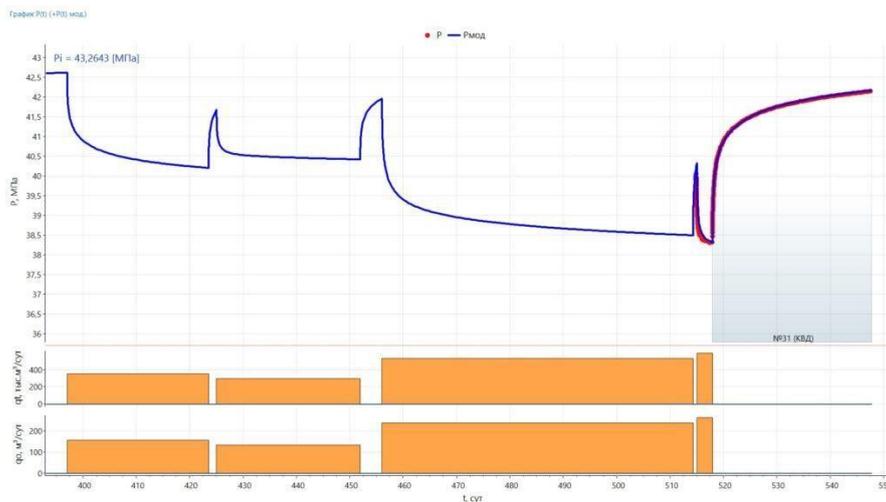


Рис. 2.9 – Технологічна схема досліджень свердловини із реєстрацією КВТ

Використовуючи програмне забезпечення Карра Saphir, проводиться інтерпретація КВС із побудовою діагностичних графіків. Основна мета інтерпретації полягає у правильному виборі моделі свердловини, щоб фактичні та модельні криві максимально збігалися. На рис. 2.10 представлений приклад діагностичного графіка КВТ за моделлю з тріщиною нескінченної провідності.

За результатами інтерпретації вивантажується звіт, де відображається поточний пластовий тиск, проникність пласта, параметри утвореної тріщини, скін фактор, радіус дослідження.

Трасерні дослідження застосовують для визначення гідродинамічного зв'язку за площею заводнених пластів, виявлення високопроникних каналів між нагнітальними і обводненими видобувними свердловинами, оцінки

ефективності потоковідхиляючих технологій регулювання профілю прийомистості нагнітальних свердловин і охоплення пласта витісненням.

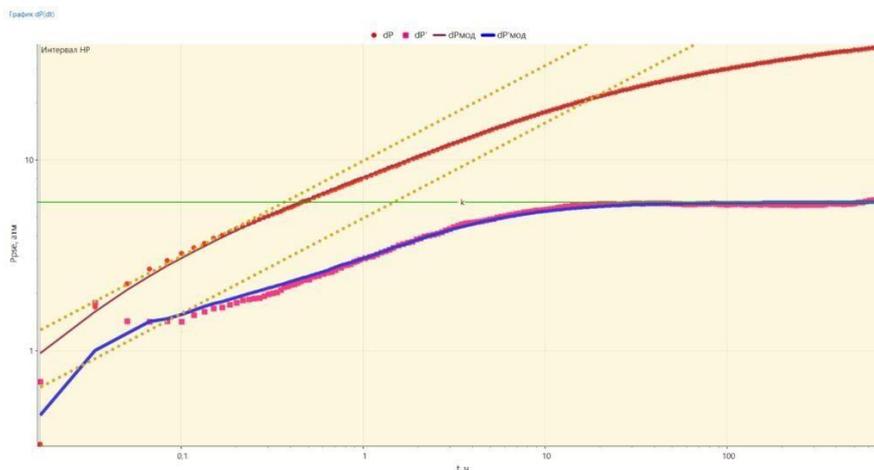


Рис. 2.10 – Діагностичний графік КВД за моделлю тріщини з нескінченною провідністю з додатковим накладенням ліній з кутами нахилу $\frac{1}{2}$ (пунктирні світло-коричневі лінії) та $\frac{1}{4}$ (штрихпунктирні блакитні лінії)

Сутність індикаторних досліджень ґрунтується на тому, що на поверхні різними стабільними водорозчинними індикаторами мітяться порції води, які вводяться через нагнітальні свердловини досліджуваній пласт і потім відтісняються до видобувних свердловин, що закачується водою. Шляхом регулярного відбору та аналізу проб рідини в лабораторних умовах визначаються наявність та кількісний вміст індикаторів, а також обводненість продукції свердловин.

Головним джерелом інформації з трасерного дослідження є графік зміни концентрації трасера в свердловині, що спостерігається від часу (рис. 2.11).

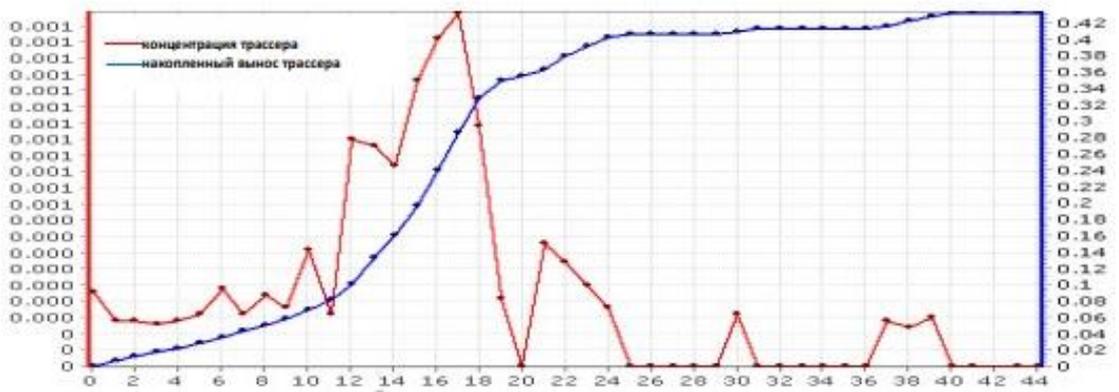


Рис. 2.11 – Графік надходження трассера в контрольну свердловину та накопичений винос трассера

Аналізуючи результати трассерних досліджень, можна визначити, наскільки змінився вплив нагнітальних свердловин, неоднорідність пласта та охоплення пласту заводненням після проведення соляно-кислотної обробки.

2.4 Ефективність застосування соляно-кислотної обробки на містородженні X

За речовинним складом карбонатні породи в основному складаються з вапняків та доломітів. Карбонати палеозойського часу мають складну будову, численні інтрузії і безлічі вторинних процесів, завдяки яким карбонатні породи мають специфічні колектори, такі як порово-тріщинний, тріщинний, поровокавернозно-тріщинний тип з різкою вертикальною і латеральною диференціацією. Самі ж тріщини в карбонатних породах можуть бути повністю або частково заповнені різними мінеральними речовинами або залишатися порожнистими. Рух флюїду в карбонатних колекторах відбувається в основному за рахунок тріщин, у зв'язку з чим колектори в основному мають слабку проникність, яка в середньому дорівнює 1,1 мД. Проаналізувавши родовища Західного регіону, можна дійти невтішного висновку, що головною особливістю нафти є її високопарафинистість, у своїй за іншим критеріям нафту можна охарактеризувати як, особливо легка, малосірчиста, трохи в'язка, малосмолиста.

Основними проблемами розробки карбонатних колекторів можна назвати швидку обводненість продукції, низьку проникність і нерівномірну вироблення запасів. Швидка обводненість продукції відбувається за рахунок анізотропії тріщин, що сприяє прориву пластових і нагнітальних вод, а також конусоподібне підтягування підошовної води до привибійної зони. Через шарувату будову продуктивних товщ карбонатних колекторів, а також неоднорідності по товщині, виникає нерівномірне пошарове вироблення запасів у процесі розробки колектора.

Однак у процесі розробки виникають інші ускладнюючі процеси. Через особливості фізико-хімічного складу нафти, у процесі розробки відбувається утворення АСПВ на стінках НКТ та у привибійній зоні пласта, що створює опір руху потоку флюїду. Ще однією проблемою розробки є зниження проникності колектора. Однією з причин є деформація колектора, а саме змикання природних тріщин при зниженні забійних та пластових тисків у процесі розробки. У початкових пластових умовах внаслідок пружності порід продуктивного пласта і рідин, що його насичують, тріщини ці знаходяться в розкритому стані і не перешкоджають руху рідини. Однак при розтині пласта або при видобутку створюються високі депресії на привибійну зону, і відбувається змикання пластових тріщин біля стовбура свердловини. Іншою причиною є забруднення привибійної зони. У привибійній зоні пласта спостерігаються найбільші перепади тиску. Внаслідок впливу мінералізації та високих тисків, відбувається процес інтенсивного випадання та скупчення солей у ПЗП. Коли відкладення утворюються у пласті, вони закупорюють пори, зменшуючи таким чином проникність. Відкладення у пласті утворюються у безпосередній близькості від свердловини, при цьому зменшується проникність привибійної зони свердловин.

З метою відновлення проникності та підвищення нафтовіддачі в карбонатних колекторах використовують кислотну обробку. Найбільш ефективною та рентабельною є соляна кислота. Однак на процес кислотної обробки впливає температура пласта та тиск. Так при підвищенні температури

відбувається зростання швидкості реакції кислоти з породою, що призводить до швидкої нейтралізації кислоти та ускладнює обробку віддалених зон пласта. Однак зі збільшенням тиску відбувається зниження швидкості реакції, що допомагає проникнути кислоті глибше в пласт.

Досліджую залежність вибору оптимальної концентрації соляної кислоти від речовинного складу колектора, були проведені розрахунки зміни скін-фактору, дебіту по обробці, час дії ефекту від обробки та додатково видобуток нафти. Результати представлені у табл.2.8.

Аналізуючи залежність зміни дебіту після обробки від вмісту вапняків та доломітів у породі (рис. 2.12 та 2.13) можна зробити висновок, що для породи з великим вмістом доломітів низькі концентрації кислоти є менш ефективними.

Таблиця 2.8

Результати розрахунків

Концентрація кислоти	X, %	Y, %	ΔS	Q після СКО, м ³ /добу.	T, доба	V _H , м ³
5	0	100	-1,79	72,46	389,82	3776,16
	19,41	80,29	-1,74	72,14	378,57	3560,96
	40	60	-1,70	71,89	370,12	3403,58
	60	40	-1,68	71,74	364,75	3305,38
	80	20	-1,67	71,66	362,01	3255,77
	100	0	-1,67	71,66	361,93	3254,30
12	0	100	-2,25	75,79	502,07	6272,54
	19,41	80,29	-2,22	75,56	494,36	6080,68
	40	60	-2,20	75,43	490,10	5976,09
	60	40	-2,20	75,40	489,31	5956,71
	80	20	-2,21	75,48	491,71	6015,35
	100	0	-2,23	75,65	497,43	6156,68
15	0	100	-2,39	76,82	535,77	7146,17

	19,41	80,29	-2,37	76,68	531,39	7029,23
	40	60	-2,35	76,53	526,37	6896,74
	60	40	-2,35	76,55	527,11	6916,17
	80	20	-2,37	76,68	531,23	7025,07
	100	0	-2,40	76,91	538,91	7230,32
20	0	100	-2,56	78,16	579,14	8355,13
	19,41	80,29	-2,54	78,01	574,16	8211,66
	40	60	-2,54	77,98	573,17	8183,14
	60	40	-2,55	78,06	575,96	8263,29
	80	20	-2,57	78,26	582,39	8449,66
	100	0	-2,61	78,59	592,68	8752,44

Однак при використанні концентрацій соляної кислоти більше 12% у колекторах з великим вмістом доломітів ефект від обробки трохи вищий, ніж у вапнякових.

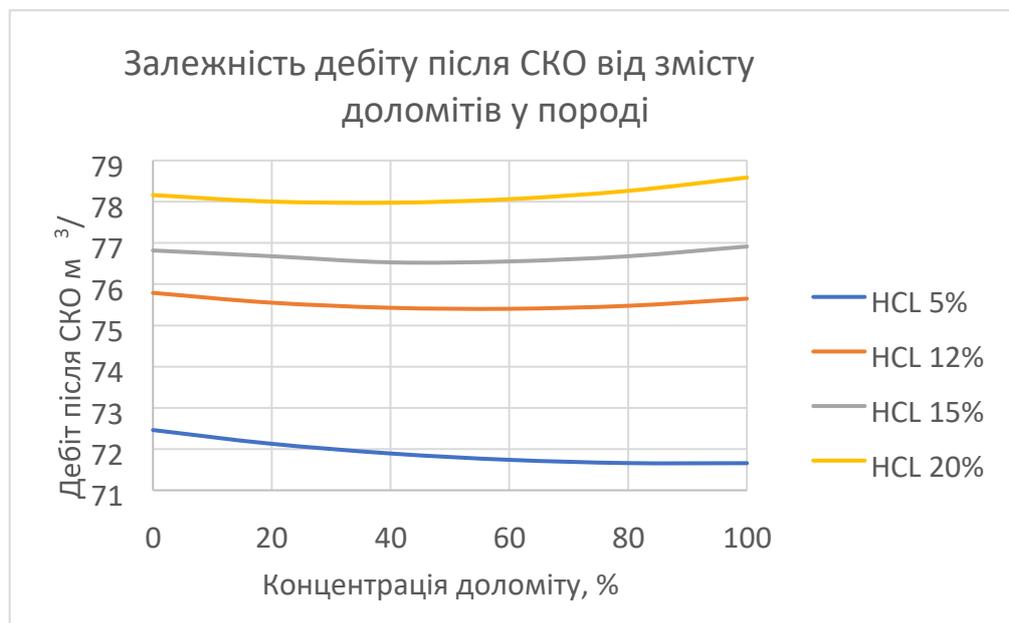


Рис. 2.12 - Залежність дебіту після обробки від вмісту доломітів у породі

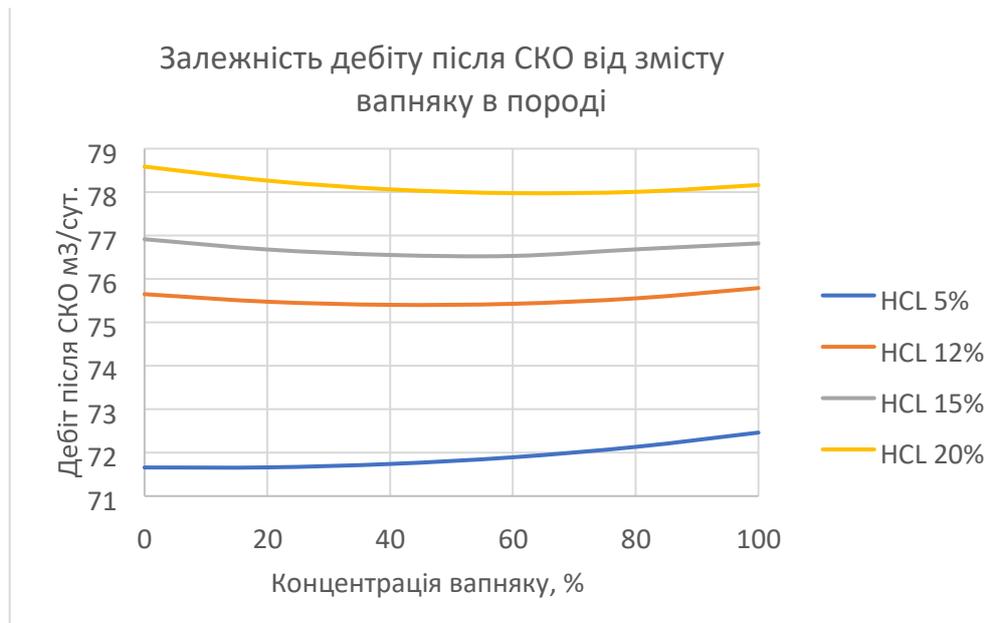


Рис. 2.13 - Залежність дебіту після обробки від вмісту вапняків у породі

Аналізую графіки (рис. 2.14 та 2.15) залежності зміни скінфактора від вмісту в породі вапняків та доломітів, можна сказати, що простежується також залежність як і з дебітом. Однак при збільшенні концентрації великого стрибка у зміні скін-фактора не спостерігається і оптимальної концентрації кислоти в такому випадку буде 15% соляна кислота, у зв'язку з меншими витратами на кислоту, а також меншою в'язкістю розчину, що спростить його закачування пласт.

З розрахунків на родовищі Х при закачуванні 15,8 м³ кислотного розчину буде приріст дебіту свердловини з 62 м³/добу до 76,6 м³/добу, причому зміни скін-фактора після обробки дорівнює -2,36, а обсяг додаткової видобутої нафти складе 6972 м³. Однак у кислотному розчині крім кислоти міститься інгібітор корозії В-2 у розмірі 0,03 м³ для зниження корозійного впливу кислоти на обладнання. Також додається інтенсифікатор Марвелан у розмірі 0,05 м³ для зниження поверхневого натягу на кордоні нейтралізована кислота з метою полегшення очищення привибійної зони від продуктів реакції, а також оцтова кислота, як стабілізатор, у розмірі 0,6 м³. Крім звичайної соляно-кислотної обробки, можна використовувати різні буфери збільшення

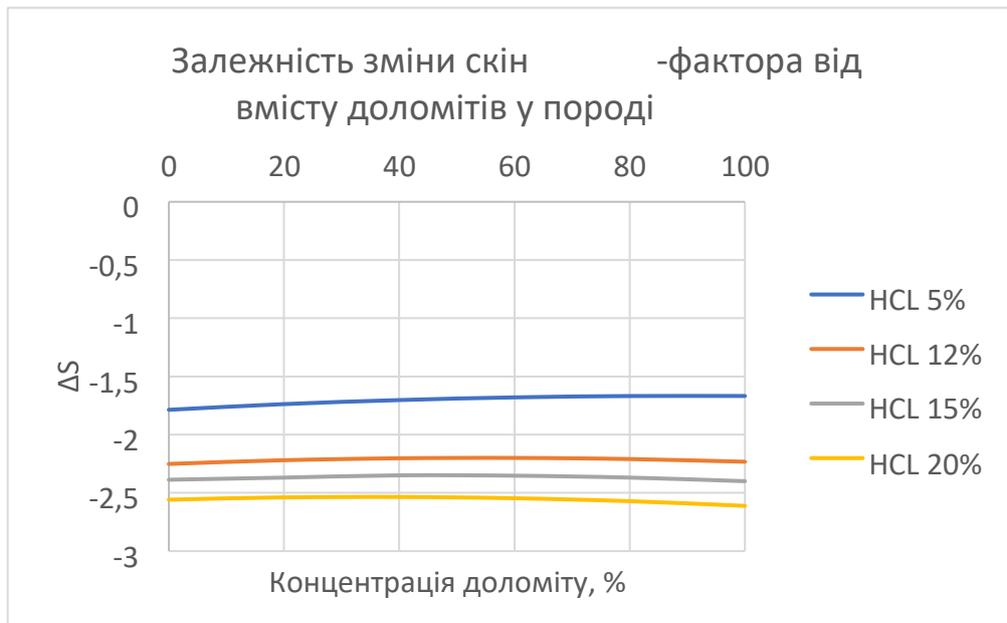


Рис. 2.14 – Залежність зміни скін-фактора від вмісту доломітів у породі

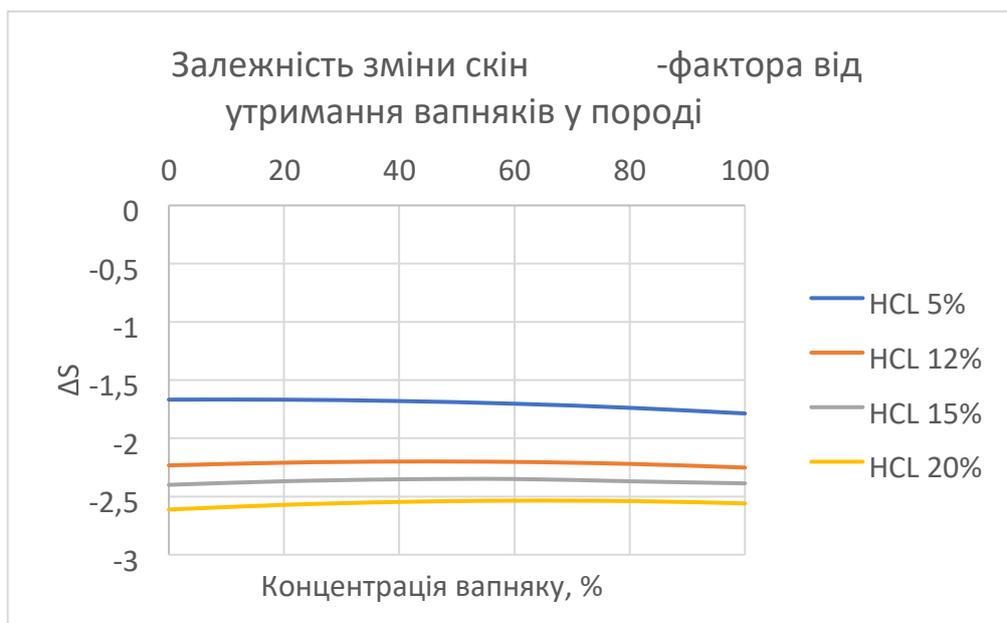


Рис. 2.15 – Залежність зміни скін-фактора від вмісту вапняків у породі

нафтовіддачі. Так при високій неоднорідності пласта використовують гелеутворюючі композиції, з метою ізолювання високопроникні ділянки пласта і перенаправлення кислоти в ніскопроникні. Одним із перспективних є неорганічна гелеутворююча композиція ГАЛКА, яка в поверхневих умовах є малов'язкими водними розчинами, а в пластових умовах перетворюються на

гелі. Гелеутворення відбувається під дією теплової енергії пласта або теплоносія, що закачується, без зшиваючих агентів. Для виготовлення композицій використовується вода будь-якої мінералізації.

Застосовуються для неоднорідних пластів із проникністю від 0.01 до 30 мкм². Час гелеутворення – від кількох хвилин до кількох діб в інтервалі температур 10-320 оС.

Після проведення кислотної обробки рекомендується провести гідродинамічні дослідження свердловини, а також трасерні дослідження з метою точного визначення наскільки змінився скін-фактор після СКО, а також зміни неоднорідності пласта та охоплення пласта заводненням.

Висновки до розділу 2

У розділі 2 магістерської роботи виконано огляд і ґрунтовний аналіз сучасних технологій інтенсифікації припливу нафти з карбонатних колекторів нафтових родовищ. Розглянуто особливості сучасного стану видобутку нафти з карбонатних колекторів, що характеризуються складною тріщинно-поровою структурою, неоднорідністю фільтраційно-ємнісних властивостей та підвищеною чутливістю до технологічних впливів.

Проаналізовано основні ускладнення, що виникають у процесі розробки родовищ з карбонатними колекторами, зокрема зниження проникності привибійної зони, кольматацію порового простору, утворення малопроникних зон та нерівномірність припливу флюїду. Окрему увагу приділено механізму впливу кислотних складів у пластових умовах, встановлено закономірності взаємодії кислот із карбонатною породою та їх вплив на покращення фільтраційних характеристик пласта.

У підрозділах 2.3–2.3.3 обґрунтовано вибір технологій інтенсифікації припливу для карбонатних колекторів, визначено критерії вибору ділянок для проведення кислотної обробки, наведено методику розрахунку параметрів соляно-кислотної обробки та виконано інтерпретацію отриманих результатів.

Показано, що коректний вибір технологічних параметрів кислотної обробки є визначальним чинником досягнення позитивного технологічного ефекту.

У підрозділі 2.4 проведено оцінювання ефективності застосування соляно-кислотної обробки на родовищі Х, що підтвердило доцільність використання даної технології для підвищення дебіту свердловин та покращення умов фільтрації в карбонатних колекторах.

Загалом результати, отримані у розділі 2, свідчать про високу ефективність кислотних методів інтенсифікації припливу за умови їх науково обґрунтованого вибору та адаптації до конкретних геолого-технічних умов родовища, що створює передумови для підвищення нафтовіддачі та ефективності розробки карбонатних колекторів.

РОЗДІЛ 3 ВИМОГИ ДО КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТУ ГАЛУЗІ

3.1 Вимоги до кадрового забезпечення фахівців нафтовидобувного підприємства до ефективного застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах.

Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах значною мірою залежить від рівня професійної підготовки, кваліфікації та злагодженої роботи персоналу нафтовидобувного підприємства. Кадрове забезпечення має відповідати вимогам чинного законодавства, галузевих нормативно-технічних документів та специфіці виконання кислотних обробок у складних геолого-технічних умовах.

Основною метою кадрового забезпечення є формування компетентного персоналу, здатного забезпечити технологічну ефективність соляно-кислотної обробки, дотримання вимог промислової безпеки та мінімізацію негативного впливу на пласт і навколишнє середовище.

3.2 Кваліфікаційні вимоги до фахівців нафтовидобувного підприємства

Фахівці, задіяні у плануванні та виконанні соляно-кислотної обробки, повинні мати відповідну освіту та практичний досвід роботи. Основні кваліфікаційні вимоги включають:

- наявність вищої технічної освіти за спеціальностями «Нафтогазова інженерія», «Геологія», «Хімічні технології», «Гірництво» або суміжними напрямками;
- знання геолого-фізичних характеристик карбонатних колекторів та механізмів впливу кислотних реагентів на породу пласта;

- володіння методами підбору складу кислотних систем та технологічних параметрів обробки;
- досвід роботи з технологічною, проектною та нормативною документацією.

Інженерно-технічний персонал повинен мати практичні навички аналізу результатів проведених кислотних обробок та прийняття рішень щодо коригування технологічних режимів.

3.3 Вимоги до професійної підготовки та підвищення кваліфікації персоналу

З метою забезпечення ефективності соляно-кислотної обробки персонал нафтовидобувного підприємства має проходити систематичну професійну підготовку та підвищення кваліфікації. Навчання повинно охоплювати:

- сучасні технології інтенсифікації припливу з карбонатних колекторів;
- фізико-хімічні основи кислотних обробок у пластових умовах;
- методики розрахунку об'ємів, концентрацій та режимів закачування кислотних складів;
- аналіз і інтерпретацію технологічних та промислових результатів обробки.

Регулярне навчання персоналу сприяє підвищенню результативності робіт, зменшенню кількості технологічних ускладнень та підвищенню економічної ефективності розробки родовищ.

3.4 Вимоги до знань і навичок у сфері промислової та екологічної безпеки

Персонал, задіяний у виконанні соляно-кислотної обробки, повинен досконало знати та дотримуватися вимог промислової, пожежної та екологічної безпеки. Обов'язковими є:

- знання правил роботи з агресивними хімічними реагентами;
- уміння застосовувати засоби індивідуального та колективного захисту;
- навички дій у разі виникнення аварійних ситуацій, витоків кислот або порушення герметичності обладнання;
- проходження регулярних інструктажів і медичних оглядів.

Дотримання вимог безпеки є необхідною умовою запобігання виробничому травматизму та негативному впливу на навколишнє середовище.

3.5 Організаційні вимоги до управління персоналом при проведенні кислотних обробок

Для досягнення максимального технологічного ефекту від соляно-кислотної обробки необхідно забезпечити ефективну організацію роботи персоналу, яка передбачає:

- чіткий розподіл функціональних обов'язків між геологічними, технологічними та виробничими службами;
- координацію дій між підрозділами підприємства та підрядними організаціями;
- контроль дотримання технологічних регламентів та параметрів обробки;
- аналіз результатів виконаних робіт і впровадження коригувальних заходів.

Раціональна система управління персоналом забезпечує підвищення ефективності соляно-кислотної обробки та стабільність технологічних результатів.

Висновки до розділу 3

У розділі 3 сформовано вимоги до кадрового забезпечення нафтовидобувного підприємства, спрямовані на ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів. Визначено, що належний рівень кваліфікації, професійної підготовки та організації роботи персоналу є ключовими чинниками досягнення позитивного технологічного ефекту та забезпечення безпеки виконання робіт.

Узагальнено, що впровадження визначених вимог до кадрового забезпечення сприяє підвищенню результативності інтенсифікації припливу нафти, зниженню технологічних ризиків і забезпеченню стабільної та ефективної розробки карбонатних колекторів нафтових родовищ.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «ЕФЕКТИВНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СОЛЯНО - КИСЛОТНОЇ ОБРОБКИ КАРБОНАТНИХ КОЛЕКТОРІВ НА НАФТОВИХ РОДОВИЩАХ», ЩО ВИВЧАЄТЬСЯ У ПРОЦЕСІ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ФАХІВЦІВ НАФТОВИДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

4.1. Вихідні дані

Розробка ефективної програми підвищення кваліфікації інженерно-технічного персоналу нафтовидобувних підприємств повинна базуватися на комплексному аналізі виробничих умов, професійного досвіду слухачів та їхнього рівня підготовки, а також на оцінці можливостей освітніх і корпоративних навчальних центрів. Вихідні дані визначають логіку формування змісту, структури, методів і форм навчання, що забезпечують підготовку персоналу до безпечного та ефективного проведення кислотної обробки карбонатних колекторів.

Навчання орієнтоване на інженерно-технічних спеціалістів, які виконують наступні функції:

- планування та проведення соляно-кислотної обробки свердловин із контролем параметрів потоку та тиску;
- оцінка стану карбонатного колектора, визначення пористості та проникності порід, прогнозування ефективності обробки;
- застосування сучасних технологій контролю та моделювання процесів обробки;
- експертний аналіз результатів операцій та підготовка рекомендацій щодо корекції технологічних режимів;
- контроль безпечного ведення технологічних операцій і дотримання нормативів охорони праці та екологічних стандартів.

Категорії слухачів включають:

- фахівців середньої та вищої інженерної кваліфікації (інженери-технологи, механіки, геологи, хіміки, спеціалісти з бурових технологій);
- працівників виробничих підрозділів нафтовидобувних підприємств, відповідальних за підготовку та проведення кислотної обробки;
- молодих інженерів з базовим досвідом роботи, які потребують поглибленого навчання для самостійного прийняття рішень під час технологічних операцій.

Рівень попередньої підготовки слухачів зазвичай включає:

- базові знання в галузях хімії, гідродинаміки, геології та технології нафтовидобутку;
- розуміння принципів роботи свердловин, обладнання для закачування кислотних розчинів та систем контролю;
- навички аналізу технічної документації, підготовки звітів та контролю технологічних параметрів;
- знання нормативів охорони праці, промислової безпеки та екологічних стандартів.

Місце роботи слухачів може включати:

- нафтовидобувні підприємства та їх технологічні підрозділи;
- сервісні організації, що виконують кислотну обробку та контроль ефективності свердловин;
- лабораторії і центри, які займаються моделюванням та контролем технологічних процесів;
- освітні та науково-дослідні установи, що надають практичні та теоретичні програми підвищення кваліфікації.

Місце підвищення кваліфікації може охоплювати:

1. Корпоративні навчальні центри з лабораторіями, тренажерними модульними стендами та сучасним цифровим обладнанням для моделювання процесів кислотної обробки;

2. Профільні технічні університети та інститути післядипломної освіти з програмами спеціалізованої підготовки в галузі нафтовидобутку;

3. Освітні центри промислової безпеки та сервісні лабораторії, що забезпечують практичні тренінги з реальним обладнанням.

Тривалість навчальних програм залежить від складності змісту та рівня підготовки слухачів і може варіюватися від 1 до 4 місяців. Поглиблені курси, спрямовані на отримання статусу експерта з кислотної обробки та управління свердловинами, можуть мати тривалість до 6 місяців.

Форми організації навчального процесу включають:

- лекції та семінари з вивчення теоретичних основ хімії та технології обробки карбонатних колекторів;

- практичні заняття з використанням тренажерів, лабораторних модулів і цифрових симуляторів;

- аналіз кейсів реальних виробничих ситуацій для формування навичок прийняття рішень;

- самостійну роботу з нормативною документацією, підготовку аналітичних звітів та розробку рекомендацій щодо оптимізації технологічних процесів.

Застосування таких вихідних даних у процесі підвищення кваліфікації дозволяє формувати у фахівців комплекс компетентностей, необхідних для ефективного, безпечного та економічно доцільного застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах.

4.2. Види та зміст професійної діяльності фахівця

Аналіз професійної діяльності фахівців нафтовидобувного підприємства наведений в таблиці 4.1.

Професійна діяльність інженерно-технічного персоналу нафтовидобувного підприємства включає комплекс завдань, спрямованих на забезпечення ефективного видобутку нафти, контроль за станом свердловин та обладнання, а також впровадження сучасних технологій, зокрема соляно-

кислотної обробки карбонатних колекторів. Для структурованого аналізу можна виділити основні види діяльності, функції та процеси, що їх характеризують.

Таблиця 4.1

Аналіз професійної діяльності фахівця

Вид діяльності	Функції діяльності	Процес діяльності
1	2	3
Технологічне планування та підготовка робіт	Розробка плану кислотної обробки, вибір складу реагентів та режимів закачування	Аналіз геологічних та гідродинамічних характеристик свердловини, розрахунок обсягів і концентрацій кислотних розчинів, підготовка обладнання до робіт
Виконання технологічних операцій	Проведення кислотної обробки, контроль параметрів процесу	Організація закачування кислотних розчинів, контроль тиску і температури, моніторинг потоку і ефективності обробки
Технічний контроль та діагностика	Оцінка стану колектора і свердловин, виявлення відхилень від нормативів	Вимірювання дебіту, тиску і температури, збір та аналіз даних, використання лабораторних та цифрових методів контролю
Аналіз і оптимізація технологічних процесів	Визначення ефективності робіт, корекція режимів обробки	Порівняння результатів з нормативами, підготовка рекомендацій щодо оптимізації процесів і зниження ризиків аварій
Забезпечення безпеки та екологічного контролю	Дотримання норм охорони праці та екологічних стандартів	Контроль за дотриманням технологічних інструкцій, використання засобів захисту, фіксація небезпечних ситуацій та прийняття заходів щодо їх усунення
Підвищення кваліфікації та професійний розвиток	Освоєння нових технологій і методів	Участь у тренінгах, семінарах, лабораторних та симуляційних заняттях, аналіз нових нормативів і методик

Виходячи з наведеного аналізу, діяльність фахівців нафтовидобувного підприємства є багатокомпонентною та інтегрує знання з хімії, гідродинаміки, геології, технології видобутку нафти, обладнання та контролю процесів. Кожен вид діяльності включає певні функції, які реалізуються через конкретні процеси, що формують комплексну професійну компетентність персоналу. Особливу роль відіграє поєднання теоретичних знань із практичними навичками, що забезпечує безпечне, ефективне та економічно обґрунтоване виконання технологічних операцій на нафтових родовищах.

Такий системний підхід дозволяє визначити потреби у навчанні, методи підвищення кваліфікації та структуру професійної підготовки персоналу, що безпосередньо впливає на ефективність застосування технології соляно-кислотної обробки та надійність експлуатації свердловин.

4.3. Кваліфікаційні вимоги до фахівців нафтовидобувного підприємства

Кваліфікаційні вимоги до фахівців нафтовидобувного підприємства представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Кваліфікаційні вимоги до фахівця

Фахівець повинен уміти	Фахівець повинен знати
1	2
Планувати та проводити технологічні операції з видобутку нафти, зокрема соляно-кислотну обробку карбонатних колекторів	Основи хімії, гідродинаміки, геології та технології нафтовидобутку; фізико-хімічні властивості кислотних розчинів
Виконувати контроль параметрів свердловини та обладнання під час експлуатації	Принципи роботи насосного обладнання, систем закачування кислотних розчинів, датчиків тиску та температури

1	2
Збирати, аналізувати та інтерпретувати дані щодо продуктивності свердловини	Методи лабораторного і цифрового аналізу, стандарти вимірювань та показники продуктивності свердловин
Проводити оцінку технічного стану обладнання та колектора, визначати ефективність обробки	Особливості конструкції обладнання, типові дефекти, методи діагностики та оцінки залишкового ресурсу
Розробляти рекомендації щодо корекції технологічних режимів та підвищення ефективності видобутку	Технологічні карти, регламенти проведення кислотної обробки, алгоритми оптимізації режимів роботи
Забезпечувати безпечне проведення робіт та дотримання норм охорони праці і екології	Норми промислової безпеки, екологічні стандарти, правила роботи з небезпечними хімічними речовинами
Використовувати цифрові симулятори та моделі для прогнозування ефективності робіт	Принципи роботи програмного забезпечення для моделювання процесів, інтерпретація результатів симуляцій
Проводити навчання та підвищення кваліфікації молодших фахівців	Методи навчання дорослих, стандарти підготовки персоналу, організація тренінгів та практичних занять

4.4. Постановка цілей вивчення навчальної теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах»

Вивчення теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів» спрямоване на формування у слухачів системи знань та практичних навичок, необхідних для планування, організації та контролю кислотної обробки свердловин з урахуванням геологічних і технологічних особливостей родовищ. Основна мета полягає у забезпеченні високої ефективності видобутку нафти та безпечного проведення технологічних операцій.

Цілі-задачі на окремих етапах досягнення оперативних цілей

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми	Цілі-задачі на окремих етапах досягнення оперативних цілей.
1	2
I, II, III, IV	<ul style="list-style-type: none"> – вивчити властивості кислотних розчинів, механізми впливу на карбонатні породи, особливості геологічної будови родовищ. – розраховувати обсяг і концентрацію кислотного розчину, підбирати режим закачування, оцінювати параметри тиску, температури та продуктивності свердловини. – відпрацювати операції на лабораторних стендах та цифрових симуляторах, моделювати вплив різних технологічних режимів на результат, аналізувати наслідки відхилень від нормальних параметрів. – аналізувати складні кейси реальних виробничих ситуацій, здійснювати комплексну оцінку ризиків та приймати рішення щодо адаптації технології під конкретні умови родовища.

4.5. Перелік літературних джерел з теми.

1. Гаврилюк, І.І. Технологія та хімія обробки нафтових свердловин. – Київ: Нафтогазова академія, 2020. – 312 с.
2. Петров, О.С., Коваль, В.В. Соляно-кислотна обробка карбонатних колекторів: методи, обладнання, ефективність. – Харків: Науково-виробниче видавництво «Нафта і газ», 2019. – 256 с.
3. Smith, J., Brown, L. Acidizing Carbonate Reservoirs: Principles and Field Applications. – Houston: Petroleum Engineering Press, 2021. – 348 p.
4. Черненко, С.М., Литвин, П.А. Сучасні методи оптимізації видобутку нафти та підвищення ефективності кислотної обробки свердловин. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2022. – 280 с.

4.6. Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах»

Процес конструювання дидактичних матеріалів для навчальної теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах» повинен базуватися на принципах поетапного формування знань, умінь і компетентностей інженерно-технічного персоналу. Основна мета підготовки полягає у забезпеченні слухачів як теоретичною базою, так і практичними навичками планування, проведення та оцінки результатів кислотної обробки свердловин.

Дидактичні матеріали розробляються з урахуванням рівнів засвоєння навчального матеріалу: знання, розуміння, практичне застосування, аналіз і прогнозування результатів. Для кожного рівня передбачені окремі навчальні елементи: лекції, графічні та цифрові моделі, таблиці, алгоритми розрахунків та практичні завдання.

Ключовими компонентами матеріалів є:

1. Теоретичні посібники та навчальні конспекти, що висвітлюють хімічні та фізичні принципи взаємодії кислотних розчинів з карбонатними колекторами, технологічні режими обробки, методи контролю процесу та оцінки ефективності.

2. Схеми, графіки та інтерактивні моделі, які демонструють динаміку реакцій, рух кислотного розчину в пористому середовищі, зміну параметрів тиску та продуктивності свердловини під час обробки.

3. Практичні кейси та завдання, що дозволяють студентам моделювати різні виробничі ситуації, приймати рішення щодо оптимального вибору режимів обробки, оцінювати ризики та наслідки відхилень від нормальних параметрів.

4. Цифрові симулятори та програмні модулі, які дають можливість відтворити процес кислотної обробки, оцінити ефективність методів та прогнозувати результативність технології на конкретному родовищі.

5. Таблиці і довідники, що містять нормативні показники, властивості реагентів, типові дефекти колекторів і рекомендації щодо їх усунення.

Особливу увагу при конструюванні матеріалів приділено поєднанню теоретичної та практичної підготовки. Лекційні матеріали забезпечують фундаментальні знання з хімії, гідродинаміки та геології, тоді як практичні завдання та симуляції формують навички безпечного та ефективного використання технології в умовах реального виробництва.

Також передбачено застосування мультимедійних та інтерактивних елементів, що підвищують мотивацію слухачів і дозволяють адаптувати навчальний процес до індивідуальних потреб. Це включає відео-демонстрації лабораторних дослідів, інтерактивні графіки зміни параметрів процесу та цифрові таблиці для розрахунків технологічних режимів.

Конструювання дидактичних матеріалів реалізується за принципом системності та поетапності: від освоєння базових понять і механізмів взаємодії кислот з колекторами до розв'язання комплексних практичних завдань і прийняття експертних рішень у виробничих умовах. Такий підхід забезпечує формування у слухачів компетентностей, необхідних для ефективного та безпечного застосування технології соляно-кислотної обробки на нафтових родовищах.

4.7. Аналіз базових умов навчання з теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах»

Аналіз базового навчального матеріалу з теми представлений в таблиці табл. 4.4.

Аналіз базового матеріалу і способи актуалізації базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій
1	2
Хімія та фізико-хімічні процеси в нафтовидобутку. Геологія та геофізика нафтових родовищ. Гідродинаміка та механіка пористих середовищ. Технологія нафтовидобутку та обробки свердловин. Методи контролю та оцінки ефективності технологій. Безпека, охорона праці та екологія в нафтовидобутку. Цифрові технології та моделювання процесів	<p>Методи: усне опитування. Форми: фронтальна. Засоби: контрольні питання.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Які фізико-хімічні властивості кислотних розчинів визначають ефективність соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів? 2. Опишіть основні механізми впливу кислот на карбонатні породи. 3. Як геологічні характеристики родовища впливають на вибір технологічного режиму обробки свердловини? 4. Назвіть основні параметри процесу кислотної обробки, що підлягають контролю під час операцій. 5. Які методи оцінки ефективності кислотної обробки використовуються на сучасних нафтових підприємствах? 6. Поясніть роль гідродинаміки пористого середовища у плануванні технології обробки свердловини. 7. Які цифрові інструменти та моделі застосовуються для прогнозування результатів кислотної обробки? 8. Назвіть основні небезпеки та потенційні ризики при проведенні соляно-кислотної обробки та заходи щодо їх мінімізації. 9. Як впливає концентрація та об'єм кислотного розчину на продуктивність свердловини? 10. Опишіть процес інтеграції теоретичних знань і практичних навичок у проведенні кислотної обробки на карбонатних колекторах.

4.8. Проєктування мотиваційних технологій навчання з теми «Ефективне застосування технології соляно - кислотної обробки карбонатних

колекторів на нафтових родовищах», характеристика і текст мотивації, використання якої доцільно при викладанні навчального матеріалу (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Обрання методів мотивації навчальної діяльності

Вид і методи мотивації	Вступна мотивація
1	2
Вступна мотивація, мотивуючий вступ	<p>Доброго дня, шановні слухачі! Технологія соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів є однією з ключових у сучасному нафтовидобутку, оскільки забезпечує підвищення продуктивності свердловин та оптимізацію видобувних процесів. В умовах зростаючих вимог до ефективності експлуатації родовищ і мінімізації витрат на виробництво, знання і практичні навички з проведення кислотної обробки набувають стратегічного значення для інженерно-технічного персоналу. Системне опанування матеріалу дозволяє підвищити професійну компетентність фахівців, знизити ризики аварій та шкідливого впливу на навколишнє середовище, а також оптимізувати використання ресурсів на підприємстві. Вивчення теми створює умови для формування відповідальної і кваліфікованої позиції інженера, здатного забезпечувати безпечну та ефективну експлуатацію свердловин на нафтових родовищах.</p> <p>Таким чином, мотиваційна складова курсу полягає у зв'язку теоретичних знань з практичною значущістю технології, що робить її критично важливою для сучасного рівня підготовки кадрів нафтовидобувних підприємств.</p>

4.9. Проєктування технології формування орієнтовної основи діяльності при вивченні теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах» (табл. 4.6).

Способи формування ООД з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми	Форми навчання	Методи та засоби навчання
1	2	3
<p>Знання: слухачі засвоюють основні поняття та терміни, принципи хімічної взаємодії кислот з карбонатними породами, типові технологічні режими обробки та нормативні вимоги.</p> <p>Розуміння: формуються навички аналізу хімічних і фізичних процесів, що відбуваються в колекторі, та впливу геологічних і технологічних факторів на ефективність обробки.</p> <p>Практичне застосування: слухачі навчаються планувати і моделювати процес кислотної обробки, оцінювати технологічні параметри та прогнозувати продуктивність свердловин після обробки.</p> <p>Аналітичний та прогностичний рівень: формуються компетентності у визначенні оптимальних режимів обробки, аналізі ризиків та прийнятті обґрунтованих рішень у виробничих умовах.</p>	<p>Лекційні заняття для теоретичного ознайомлення з технологією, хімічними та гідродинамічними аспектами.</p> <p>Практичні заняття і лабораторні роботи, що передбачають моделювання процесів обробки та аналіз результатів.</p> <p>Кейс-методи, групові дискусії та аналіз реальних виробничих ситуацій.</p> <p>Використання цифрових симуляторів для відпрацювання алгоритмів проведення кислотної обробки.</p> <p>Самостійна робота з нормативною та технічною документацією.</p>	<p>Методи: пояснення, демонстрація, проблемне навчання, моделювання технологічних процесів, розбір практичних кейсів, дискусії, групова робота.</p> <p>Засоби: презентації, схеми, графіки та цифрові моделі процесу кислотної обробки; тренажери та лабораторне обладнання; інтерактивні комп'ютерні симулятори; довідкова література та нормативні документи.</p>

Таким чином, структура навчання поєднує теоретичну підготовку, практичну діяльність і цифрове моделювання, що дозволяє слухачам формувати повний спектр професійних компетентностей для ефективного та безпечного застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах.

4.10. Проектування технології формування виконавчих дій при вивченні теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах» (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми	Форми	Методи, засоби закріплення
1	2	3
I, II, III, IV	Колективна-групова	<p>Вправа 1. Визначення хімічної реактивності кислотних розчинів з карбонатними породами</p> <ul style="list-style-type: none"> • Мета: ознайомлення з процесами хімічної взаємодії та оцінка ефективності різних концентрацій кислот. • Завдання: провести лабораторний експеримент, змодельовати реакцію HCl з карбонатною породою, визначити швидкість розчинення та об'єм газу, що виділяється, проаналізувати вплив концентрації розчину. • Очікуваний результат: формування навичок вибору оптимальних концентрацій кислот та розуміння механізмів їх дії на породу. <p>Вправа 2. Аналіз геологічних характеристик родовища для планування кислотної обробки</p> <ul style="list-style-type: none"> • Мета: навчитися враховувати геологічні параметри при підготовці технологічного процесу. • Завдання: дослідити геологічні дані конкретної свердловини (пористість, тріщинуватість, мінералогія), визначити тип колектора та розрахувати необхідний об'єм кислотного розчину. • Очікуваний результат: уміння оцінювати вплив геології на ефективність обробки та прогнозувати результативність технології. <p>Вправа 3. Розробка технологічного плану кислотної обробки</p>

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> • Мета: практичне застосування знань для планування операцій на свердловині. • Завдання: скласти покрововий технологічний план кислотної обробки, визначити параметри подачі кислотного розчину, тривалість впливу та необхідне обладнання. • Очікуваний результат: сформовані навички планування технологічних операцій із врахуванням безпеки та ефективності процесу. <p>Вправа 4. Моделювання процесу соляно-кислотної обробки за допомогою цифрового симулятора</p> <ul style="list-style-type: none"> • Мета: освоєння цифрових інструментів прогнозування ефективності процесу. • Завдання: використати комп'ютерний симулятор для моделювання різних сценаріїв обробки, змінюючи концентрацію, температуру, об'єм розчину та геологічні параметри, оцінити вплив змін на продуктивність свердловини. • Очікуваний результат: формування навичок використання цифрових моделей для прийняття обґрунтованих рішень. <p>Вправа 5. Оцінка результатів кислотної обробки та підготовка звітної документації</p> <ul style="list-style-type: none"> • Мета: навчитися аналізувати результати операцій та формувати висновки для виробництва. • Завдання: проаналізувати дані свердловин до і після обробки, підготувати звіт з оцінкою ефективності, надати рекомендації щодо корекції технології. • Очікуваний результат: навички експертної оцінки технологічних операцій та підготовки документованих висновків. <p>Вправа 6. Практичні кейси та групові дискусії</p> <ul style="list-style-type: none"> • Мета: відпрацювання прийняття рішень у реальних виробничих умовах. <p>Завдання: розглянути реальні кейси відмов або недостатньої ефективності кислотної обробки, запропонувати методи оптимізації процесу, обговорити ризики та шляхи їх мінімізації.</p>

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> Очікуваний результат: розвиток аналітичного мислення, навичок командної роботи та прийняття виробничих рішень.

4.11. Проектування контрольних дій з теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах» (таблиця 4.8).

Таблиця 4.8

Засоби контролю по темі

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми	Форми	Методи, засоби
1	2	3
I, II, III	Колективно-індиві	<p><u>Контрольні питання.</u></p> <ol style="list-style-type: none"> Які фізико-хімічні процеси відбуваються під час соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів? Опишіть вплив концентрації кислотного розчину на ефективність обробки і безпеку процесу. Які геологічні фактори необхідно враховувати при плануванні кислотної обробки? Назвіть основні технологічні параметри, що контролюються під час проведення кислотної обробки свердловини. Поясніть роль гідродинамічних характеристик пласта у визначенні режиму кислотної обробки. Які методи оцінки результативності кислотної обробки використовуються у практичній діяльності нафтовидобувного підприємства? Опишіть основні ризики і небезпеки при застосуванні соляно-кислотної технології та заходи для їх мінімізації.

1	2	3
		<p>8. Як цифрові моделі та симулятори допомагають прогнозувати ефективність кислотної обробки?</p> <p>9. Поясніть, як інтегрувати теоретичні знання з практичними навичками для прийняття рішень на виробництві.</p> <p>10. Яким чином оцінка результатів обробки впливає на планування подальших виробничих операцій і підвищення продуктивності свердловин?</p>

4.12. Розробка програми курсів підвищення кваліфікації викладання теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах» представлено в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9

Програма курсів підвищення кваліфікації

№ з/п	Назва заняття	Тривалість (год.)	Цілі заняття	Тип заняття	Методи навчання
1	Вступне заняття: сучасні тенденції у кислотній обробці карбонатних колекторів	2	Ознайомлення з основними технологічними принципами та сучасними методами обробки	Лекція	Пояснення, презентація, обговорення
2	Хімічні основи соляно-кислотної обробки	4	Засвоїти механізми взаємодії кислот з карбонатними породами, вплив типу породи на ефективність	Лекція + семінар	Лекція, демонстрація реакцій на прикладі моделей, обговорення
3	Геологічні та гідродинамічні аспекти кислотної обробки	4	Навчитися оцінювати характеристики пласта, пористість та тріщинуватість для вибору оптимального режиму	Лекція + практичне заняття	Аналіз карт свердловин, моделювання пластових параметрів, групова робота
4	Планування та розробка технологічного процесу обробки	6	Освоїти алгоритм планування операцій, розрахунок об'єму кислотного розчину та режимів подачі	Практичне заняття	Розробка технологічного плану, розрахункові завдання, робота з кейсами
5	Використання цифрових моделей і симуляторів	4	Навчитися прогнозувати ефективність обробки та оптимізувати параметри процесу	Практичне заняття	Робота з комп'ютерними симуляторами, моделювання різних сценаріїв, аналіз результатів

Продовження табл. 4.9

1	2	3	4	5	6
6	Безпека та екологічні аспекти кислотної обробки	3	Формування навичок безпечного проведення обробки, оцінка ризиків та запобіжних заходів	Лекція + семінар	Обговорення нормативних вимог, розбір аварійних ситуацій, тренінг із ризик-менеджменту
7	Оцінка ефективності обробки та підготовка звітної документації	4	Навчитися аналізувати результати обробки, формувати висновки та рекомендації для виробництва	Практичне заняття	Аналіз даних свердловин до і після обробки, підготовка звітів, групові обговорення
8	Інтегровані вправи: моделювання експлуатаційних ситуацій	5	Відпрацювати прийняття рішень у реальних виробничих умовах, інтегруючи теоретичні та практичні знання	Практичне заняття	Кейс-методи, групові дискусії, робота з цифровими симуляторами
9	Підсумкове заняття та контроль знань	3	Підбиття підсумків курсу, перевірка засвоєння матеріалу, обговорення практичних результатів	Лекція + тестування	Тестування, обговорення, аналіз виконаних завдань

4.13. Розробка сценарію заняття «Інтегровані вправи: моделювання експлуатаційних ситуацій»

Таблиця 4.10

Сценарій заняття

№ з/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
1	Організаційна частина (5 хвилин)	Привітання слухачів, перевірка присутності, коротке ознайомлення з метою та планом заняття, налаштування на активну роботу.
2	Вступна частина (10 хвилин)	Пояснення важливості інтеграції теоретичних знань та практичних навичок у процесі експлуатації карбонатних колекторів. Короткий огляд можливих виробничих ситуацій, які будуть моделюватися. Формування очікувань від заняття та мотивація до активної участі.
3	Теоретична частина (30 хвилин)	Повторення основ технології соляно-кислотної обробки: хімічні реакції, вплив геологічних і гідродинамічних характеристик пласта, параметри обробки. Огляд методів прогнозування ефективності обробки та оцінки результатів. Демонстрація прикладів успішних та проблемних кейсів із реальних родовищ.
4	Практична частина (45 хвилин)	Моделювання експлуатаційних ситуацій: слухачі у групах отримують реалістичні кейси, де необхідно: • Проаналізувати геологічні та технологічні дані свердловини; • Визначити оптимальні параметри кислотної обробки; • Прогнозувати результативність та оцінити ризики; • Прийняти рішення щодо корекції технології; • Підготувати короткий звіт з рекомендаціями. Використовуються цифрові симулятори та моделі для відображення процесу обробки в реальному часі. Під час вправ викладач консультує групи, стимулює дискусії та аналіз дій учасників.

5	Заклучна частина (10 хвилин)	Підбиття підсумків: обговорення рішень груп, порівняння результатів моделювання з очікуваними, формулювання висновків щодо ефективності
---	------------------------------	---

Продовження табл. 4.10

1	2	3
		технології та правильності прийнятих рішень. Оцінка засвоєння матеріалу, відповіді на запитання слухачів, рекомендації для подальшого застосування знань на виробництві.

Висновки до розділу 4

У результаті проведеного аналізу навчальної теми встановлено, що ефективно застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів потребує комплексного підходу до професійної підготовки персоналу, який включає освоєння теоретичних знань з хімії, гідродинаміки, геології та технології обробки свердловин.

Розроблений дидактичний проєкт дозволяє інтегрувати теоретичні знання та практичні навички через застосування моделювання експлуатаційних ситуацій, роботу з цифровими симуляторами та аналіз реальних кейсів, що сприяє формуванню компетентностей, необхідних для прийняття обґрунтованих технічних рішень на виробництві.

Практико-орієнтовані методи навчання, передбачені проєктом, дозволяють відпрацьовувати навички планування і контролю процесу кислотної обробки, прогнозування ефективності обробки та оцінки ризиків, що забезпечує підвищення безпеки та продуктивності нафтовидобувних підприємств.

Використання цифрових інструментів та симуляторів у процесі підвищення кваліфікації сприяє більш глибокому засвоєнню матеріалу та дає

можливість імітувати різні виробничі ситуації без ризику для обладнання і персоналу.

Розроблений дидактичний проєкт забезпечує системність навчального процесу, визначає послідовність засвоєння навчальних блоків та формує критерії оцінки ефективності підготовки фахівців, що сприяє підвищенню професійної компетентності та готовності до роботи в умовах сучасного нафтовидобутку.

Впровадження запропонованого дидактичного проєкту у програми підвищення кваліфікації фахівців нафтовидобувних підприємств має практичну значущість, оскільки дозволяє знизити ризики аварій та втрат продуктивності свердловин, підвищити ефективність технологічних операцій та оптимізувати планування робіт із кислотної обробки карбонатних колекторів.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено дослідження професійної підготовки фахівців нафтовидобувних підприємств, спрямоване на забезпечення якісного виконання робіт із соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів та підвищення ефективності видобутку нафти.

У першому розділі обґрунтовано актуальність професійної підготовки фахівців нафтовидобувного підприємства до ефективного застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах. Показано, що розробка та впровадження комплексних програм підготовки й підвищення кваліфікації інженерно-технічного персоналу є необхідною умовою ефективного та безпечного виконання кислотних обробок, оптимізації виробничих процесів і забезпечення високого рівня надійності нафтовидобувного виробництва.

У другому розділі виконано огляд і аналіз сучасних технологій інтенсифікації припливу з карбонатних колекторів нафтових родовищ. Отримані результати свідчать про високу ефективність кислотних методів інтенсифікації припливу за умови їх науково обґрунтованого вибору та адаптації до конкретних геолого-технічних умов родовища, що створює передумови для підвищення нафтовіддачі та ефективності розробки карбонатних колекторів.

У третьому розділі обґрунтовано та сформовано вимоги до кадрового забезпечення фахівців нафтовидобувного підприємства з метою ефективного застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах. Визначено, що належний рівень кваліфікації, професійної підготовки та організації роботи персоналу є ключовими чинниками досягнення позитивного технологічного ефекту та забезпечення безпеки виконання робіт. Узагальнено, що впровадження зазначених вимог до кадрового забезпечення сприяє підвищенню результативності інтенсифікації

припливу нафти, зниженню технологічних ризиків і забезпеченню стабільної та ефективної розробки карбонатних колекторів нафтових родовищ.

У четвертому розділі обґрунтовано розробку дидактичного проєкту викладання теми «Ефективне застосування технології соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів на нафтових родовищах», яка вивчається у процесі підвищення кваліфікації фахівців нафтовидобувних підприємств. Розроблений дидактичний проєкт забезпечує системність навчального процесу, визначає логічну послідовність засвоєння навчальних модулів і формує критерії оцінювання ефективності підготовки фахівців, що сприяє підвищенню рівня їх професійної компетентності та готовності до роботи в умовах сучасного нафтовидобутку.

Впровадження запропонованого дидактичного проєкту у програми підвищення кваліфікації фахівців нафтовидобувних підприємств має вагому практичну значущість, оскільки дозволяє знизити ризики аварійних ситуацій і втрат продуктивності свердловин, підвищити ефективність технологічних операцій та оптимізувати планування робіт із соляно-кислотної обробки карбонатних колекторів.

Узагальнюючи, результати магістерської роботи підтверджують, що поєднання науково обґрунтованих технологій інтенсифікації припливу з системною професійною підготовкою персоналу та сучасним дидактичним забезпеченням є ефективним шляхом підвищення результативності видобутку нафти та забезпечення сталого розвитку нафтовидобувних підприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс] : підруч. / В. П. Головенкін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf
2. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 204 с.
3. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 174 с.
4. Лебедик Л.В., Стрельников В.Ю., Стрельников М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельников, М. В. Стрельников. – Полтава : АСМІ, 2020. – 303 с.
5. Методика професійної освіти : навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компринт, 2024. – 224 с.
6. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УПА, 2024. – 82 с.
7. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт. : О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

8. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>
9. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>
10. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>
11. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>
12. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>
13. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>