

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до організації самостійної роботи,  
проведення практичних занять  
і виконання розрахунково-графічної роботи  
з навчальної дисципліни

**«НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ**  
**НАФТОВИХ, ГАЗОВИХ ТА ГАЗОКОНДЕНСАТНИХ**  
**РОДОВИЩ»**

*(для студентів 1 курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної і заочної форм навчання  
спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2021**

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи, проведення практичних занять і виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Новітні технології розробки та експлуатації нафтових, газових та газоконденсатних родовищ» (для студентів 1 курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. І. Наливайко, О. В. Ромашко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 24 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. О. І. Наливайко,  
канд. техн. наук, доц. О. В. Ромашко

#### Рецензент

**Р. Б. Ткаченко**, кандидат технічних наук, доцент кафедри енергоефективних інженерингових систем Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою нафтогазової інженерії і технологій,  
протокол № 9 від 27 травня 2021 р.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГО-ТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ ....	5
1.1 Чинники, що спричиняють механічне забруднення привибійної зони пласта .....	5
1.1.1 Причини, що викликають погіршення фільтраційної здатності привибійної зони пласта.....	5
1.1.2 Фізико-літологічні фактори, обумовлені дією прісної води на цемент і скелет породи.....	5
1.1.3 Фізико-хімічні фактори.....	6
1.1.4 Термохімічні фактори.....	6
2 ПРИЗНАЧЕННЯ І УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ КИСЛОТНИХ ОБРОБОК...	7
2.1 Призначення кислотних обробок .....	7
2.2 Основні засади процесу .....	8
3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОВЕДЕННЯ КИСЛОТНОЇ ОБРОБКИ СВЕРДЛОВИНИ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАФТОВИХ СВЕРДЛОВИН .....	10
3.1 Проєктування процесу проведення кислотної обробки свердловини з метою підвищення продуктивності нафтових свердловин .....	10
3.2 Технологія проведення кислотної обробки .....	12
4 ПЛАН РОБОТИ НА ПРОВЕДЕННЯ КИСЛОТНОЇ ОБРОБКИ. ТЕХНОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ КИСЛОТНОЇ ОБРОБКИ .....	14
4.1 План роботи на проведення кислотної обробки .....	14
5 РОЗРАХУНОК ОБРОБКИ СВЕРДЛОВИНИ РОЗЧИНОМ СОЛЯНОЇ КИСЛОТИ .....	16
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК .....	22
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	23

## ВСТУП

Геолого-технічні заходи (далі – ГТЗ) – робота з інтенсифікації видобутку нафти і газу шляхом впливу на продуктивні пласти і застосування техніко-технологічних способів поліпшення (полегшення) умов транспортування нафти з забою на гирлі свердловини.

При обробці привибійної зони (далі – ОПЗ) застосовують механічні, хімічні й фізичні методи впливу на пласт.

Хімічний метод базується на реакції взаємодії закачуваних хімічних речовин із деякими породами (карбонатними і пісковиками, що містять карбонатні речовини) пласта і забруднюючими пласт привнесеними відкладеннями.

До хімічних методів належить і обробка пластів поверхнево активними речовинами (далі – ПАР).

# 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГО-ТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ

## 1.1 Чинники, що спричиняють механічне забруднення привибійної зони пласта

### 1.1.1 Причини, що погіршують фільтраційну здатність привибійної зони пласта

Усі фактори, що погіршують привибійну зону пласта (далі – ПЗП), розподіляють на шість груп :

1. Засмічення поруватого середовища ПЗП твердою фазою промивного розчину при бурінні, а також при капітальному і підземному ремонтах свердловин.

2. Закупорка тонкого шару породи навколо забою глиною або тампонажним цементом при цементуванні експлуатаційних колон.

3. Проникнення глинистого і особливо тампонажного розчинів в тріщини, що в кілька разів може знизити середню проникність ПЗП

4. Забруднення ПЗП нагнітальних свердловин мулистими частинками, що містяться в закачуваній воді. В цьому випадку проникність може знизитися в десятки разів.

5. Збагачення ПЗП найдрібнішими частинками за рахунок кольматажу і суффозії при зворотно-поступальному русі фільтрату і пластової рідини під час спускооперацій.

6. Кольматаж ПЗП мінеральними частинками, які приносить рідиною з віддалених зон пласта.

### 1.1.2 Фізико-літологічні фактори, обумовлені дією прісної води на цемент і скелет породи

1. Проникнення в ПЗП фільтрату глинястого розчину або води при капітальному і підземному ремонті свердловин.

2. Закачування води в пласт для підтримання пластового тиску.

3. Закачування в пласт скидної рідини.

4. Прорив сторонніх пластових слабомінералізованих вод у продуктивний пласт.

5. Прорив закачуваної у водонагнітальні свердловини води в ПЗП у видобувних свердловинах.

### 1.1.3 Фізико-хімічні фактори

1. Потрапляння в поруване середовище води, що призводить до збільшення водонасичення, перешкоджає фільтрації нафти і газу внаслідок різниці поверхневого натягу води й пластової рідини.

2. Поява в ПЗП стійкої емульсії внаслідок періодичного змінювання гідродинамічного тиску на стінки свердловини, що спричиняє взаємне диспергування (подрібнення) води (фільтрату) і нафти. Цьому сприяє наявність у нафті асфальто-смолистих речовин, які є емульгатором.

3. Випадіння солей на скелеті порід ПЗП у водонагнітальних свердловинах при контакті пластових та закачуваних вод у початковий період нагнітання води.

### 1.1.4 Термохімічні фактори

Відкладення парафіну на скелеті порід пласта в покладах із низькою пластовою температурою. Цей процес відбувається при охолодженні призабійної зони під час розтину пласта, при тривалій експлуатації свердловин і при закачуванні води в пласт.

## 2 ПРИЗНАЧЕННЯ І УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ КИСЛОТНИХ ОБРОБОК

Призначення соляної кислоти HCl – розчинення карбонатних порід, карбонатних породоутворюваних мінералів, а також привнесених у пласт забруднювальних частинок.

**Кислотна обробка.** Серед наявних методів підвищення продуктивності свердловин значне місце посідають фізико-хімічні методи, зокрема солянокислотна обробка привибійної зони пласта. Основою кислотних обробок є властивість різних кислот і їх сумішей розчиняти породи, що складають продуктивні породи, а також різні суспензії, шлам, утяжувач тощо, які відкладаються і забруднюють привибійну зону, знижуючи її проникність. У процесі дії кислотою, проникність привибійної зони відновлюється і збільшується, унаслідок чого в багато разів зростає продуктивність свердловин.

Сьогодні кислотну обробку широко застосовують у карбонатних і теригенних колекторах. Загальний обсяг кислотних обробок сягає понад 3 тис. на рік. Ефективність їх досить висока зазвичай під час проведення перших двох-трьох обробок.

### 2.1 Призначення кислотних обробок

1. Обробка вибою, привибійної зони і віддалених частин пласта нафтових і газових свердловин на родовищах із карбонатними і теригенними колекторами для збільшення їх дебетів.

2. Обробка забою, привибійної зони і видаленої паці пласта нагнітальних свердловин з метою їх устаткування або збільшення поглинальної здатності, а також вирівнювання профілю їх прийомності.

3. Обробка труб підйомної колони, забою свердловини (фільтра) і їхньої призабійної зони з метою розчинення відкладень, які виділяються з пластових вод солей, що перешкоджає фільтрації нафти з пласта в стовбур свердловини і надходження її в піднімальну колону.

4. Обробка забійного корка з метою зменшення щільності і полегшення ремонтних робіт.

5. Обробка поверхні забою для видалення глинястої кірки, залишків цементної кірки, відкладень продуктів корозії тощо.

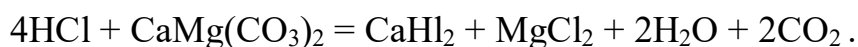
6. Обробка вибою і привибійної зони свердловин термокислотним методом з метою видалення парафіно-смолистих відкладень.

При соляно-кислотній обробці відбувається така реакція:

для вапнякових порід :



для доломітів :



Продукти реакції – хлористий кальцій і хлористий магній добре розчиняються у воді і можуть бути легко видалені зі свердловини. Вуглекислота також легко видаляється зі свердловини.

На сьогодні застосовують такі види кислотних обробок:

1. Кислотні ванни.
2. Прості кислотні обробки.
3. Обробка під тиском.
4. Термокислотні обробки.
5. Кислотні обробки через гідромоніторні насадки.
6. Серійні обробки.
7. Ступінчасті та поінтервальні обробки.

## 2.2 Основні засади процесу

Кислотна обробка — це метод збільшення проникності привибійної зони свердловини шляхом розчинення складових частинок породи пласта, а також сторонніх частинок, якими забруднені породи.

Кислотну обробку (далі – КО) застосовують для збільшення проникності карбонатних і піщаних колекторів у нафтогазовидобувних і нагнітальних свердловинах після буріння, під час експлуатації та ремонтних робіт.

Для обробки карбонатних колекторів здебільшого застосовують солянокислотні розчини (далі – СКР), а для піщаних колекторів після СКР нагнітають глинокислотні розчини (далі – ГКР). Такі обробки називаються, відповідно, солянокислотними (далі – СКО) і глинокислотними (далі – ГКО).

Під час взаємодії соляної кислоти утворюються:

- із карбонатами – водорозчинні солі  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ , газ  $\text{CO}_2$ , вода;
- із окисами заліза на трубах і його сполуками, які знаходяться у складі порід (наприклад у вигляді сидериту  $\text{FeCO}_3$ ) – хлорне залізо  $\text{FeCl}_3$ , яке після нейтралізації кислоти гідролізує у вигляді осаду  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , що здатний закупорювати пори;



- із сульфатами кальцію в складі порід із температурою до 66 °С – осад гіпсу;
- із окисом кремнію в глинах – осад, гель кремнієвої кислоти;
- із окисами лужних і лужно-земельних металів у глинах – відповідні солі.

Таким чином, під час реакцій СКР утворюються розчинні та тимчасово розчинні продукти, тому технологія обробки СКР повинна попереджати випадіння нерозчинних осадів.

Під час взаємодії глинокислоти утворюються:

- із кварцом – газоподібний  $\text{SiF}_4$ , а після зниження кислотності – гель кремнієвої кислоти  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , який закупорює пори;
- із алюмосилкатами (глинами) – газоподібний  $\text{SiF}_4$ ;
- із кварцом і алюмінієм – паралельно з  $\text{SiF}_4$  утворюється гексафторокремнієва кислота  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ , солі якої –  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  і  $\text{K}_2\text{SiF}_6$  випадають в осад.

Утворення гелів і осадів внаслідок реакції потребує негайного видалення продуктів реакції із пласта.

Реакція ГКР із глинами відбувається набагато швидше, ніж із кварцом, тому в пісковиках переважно розчиняється глинисто-карбонатний цемент і частинки, що забруднили пласт, а зерна кварцу (матриці породи) – набагато менше.

При соляно-кислотній обробці відбувається така реакція:

- для вапнякових порід:



- для доломітів:



Продукти реакції – хлористий кальцій і хлористий магній добре розчиняються у воді і можуть легко видалятися зі свердловини. Вуглекислота також легко видаляється зі свердловини.

На сьогодні застосовуються такі види кислотних обробок:

1. Кислотні ванни.
2. Прості кислотні обробки.
3. Обробка під тиском.
4. Термо-кислотні обробки.
5. Кислотні обробки через гідромоніторні насадки.
6. Серійні обробки.
7. Ступінчасті та поінтервальні обробки.

### **3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОВЕДЕННЯ КИСЛОТНОЇ ОБРОБКИ СВЕРДЛОВИНИ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАФТОВИХ СВЕРДЛОВИН**

#### **3.1 Проєктування процесу проведення кислотної обробки свердловини з метою підвищення продуктивності нафтових свердловин**

Кислотні ванни застосовуються для всіх свердловин відкритим вибоєм і призначені для очищення поверхні вибою від забруднених матеріалів – залишків цементної і глинистої кірки, кальцитових виділень із пластових вод тощо.

Застосування у виробництві кислотних ванн у таких свердловинах кислотної обробки з надавлюванням кислоти неприпустимо. Обсяг кислотного розчину повинен дорівнювати обсягу свердловин від вибою до покрівлі оброблюваного інтервалу продуктивного горизонту. Час витримки на реагування – 16–24 години.

Прості кислотні обробки є найпоширенішим видом і проводяться з обов'язковим надавлюванням кислотного розчину в привибійну зону. Підготування свердловини полягає, насамперед, у ретельному очищенні її від забійного корка.

Обсяг кислотного розчину для простих обробок у розрахунку на 1 м потужності пласта рекомендується таким (м<sup>3</sup>):

- малопроникні, тонкозернисті – 0,4–0,6;
- високопроникні – 0,6–10;

для вторинних обробок поруватих порід:

- малопроникних тонкозернистих – 0,6–1,0;
- високопроникних – 1,0–1,5;
- для первинних обробок тріщинуватих порід – 0,6–0,8;
- для вторинних обробок тріщинуватих порід – 1,0–1,5;
- основна концентрація HCl – 15 %.

Продавлюваною рідиною зазвичай слугує нафта того ж самого місця видобутку. При обробці газових свердловин доцільніше застосовувати для надавлювання воду або газ. При обробках нагнітальних свердловин водою доцільніше використовувати добавку ПАР типу ОН-ТО. Рівень кислоти в затрубному просторі в період закачування та продавлювання її в пласт повинен перебувати в межах інтервалу стовбура свердловини, обраного для цієї обробки.

Орієнтовні терміни витримування:

– при залишенні кислоти у відкритому стовбурі свердловини – 8–12, іноді до 24 год;

– при надавлюванні всієї кислоти в пласт:

– при температурі забою 15–30 ° – до 2 год;

– при температурі забою 30–60 ° – до 1–1,5 год.

**Кислотна обробка під тиском.** Високопроникні прошарки перекриваються шляхом попереднього закачування в високопроникні ділянки буфера емульсії типу «кислота в нафті». Потім під великим тиском здійснюється закачування розчину HCl в малопроникні ділянки. Тиск закачування – 200, 250 і 300 кг/см<sup>2</sup>, витрата – 8–15 % кислоти на 1 пог. метр потужності пласта 0,4–1,5 м<sup>3</sup>. При повторному обробленні обсяг кислотного розчину збільшують на 20–40 %. Для свердловин із низьким  $P_{пл}$  концентрація HCl – 10–12 %. Для свердловин з високим  $P_{пл}$  концентрація HCl – 12–15 %.

**Кислотоструменна обробка.** Мета – очищення стінок вибою свердловини від цементної і глинистої кірки; для руйнування та видалення щільних забійних корків струменями, спрямованими вниз: для інтенсивного руйнування порід зі створенням каналів розчинення в заданому інтервалі пласта для вибірково спрямованого оброблення. Відповідно до цілей кислотоструменне оброблення може застосовуватися переважно в свердловинах із відкритим стовбуром у межах величини продуктивного горизонту.

**Серійна обробка.** Застосовують з метою виведення свердловини на максимальну продуктивність за короткий період шляхом оброблення інтервалу продуктивного пласта 2–3 рази за невеликий проміжок часу. Приклади серійних обробок: «ванна–ванна–ванна», «ванна–проста обробка пристовбурної частини привибійної зони – проста обробка привибійної зони», «термокислотна обробка під тиском».

**Поінтервальна або ступінчаста обробка.** Для охоплення всієї потужності продуктивних порід дією кислоти необхідно примусово виловлювати кислотний розчин в обмежені за потужністю інтервали пласта або в окремі його пропласти.

Далі, як приклад, наводиться розрахунок звичайної солянокислотної обробки.

### 3.2 Технологія проведення кислотної обробки

Перед кислотною обробкою піднімають зі свердловини глибинне обладнання, опускають НКТ із промиванням до вибою і піднімають труби до нижнього перфораційного отвору оброблюваного інтервалу.

Гирло свердловини обладнують арматурою і зворотним клапаном на вході в НКТ. Напірна сторона насосного агрегату ЦА-320, 4АН-700 або іншого обв'язують через зворотний клапан з трубним простором НКТ, а приймальна – із кислотовозом (Аз-30А) і автоцистернами (4ЦР, АП), у яких транспортуються кислотні розчини й продавлені рідини.

Нагнітальні трубопроводи опресовуються під тиском, який у півтора рази більший від очікуваного тиску нагнітання рідин у свердловину.

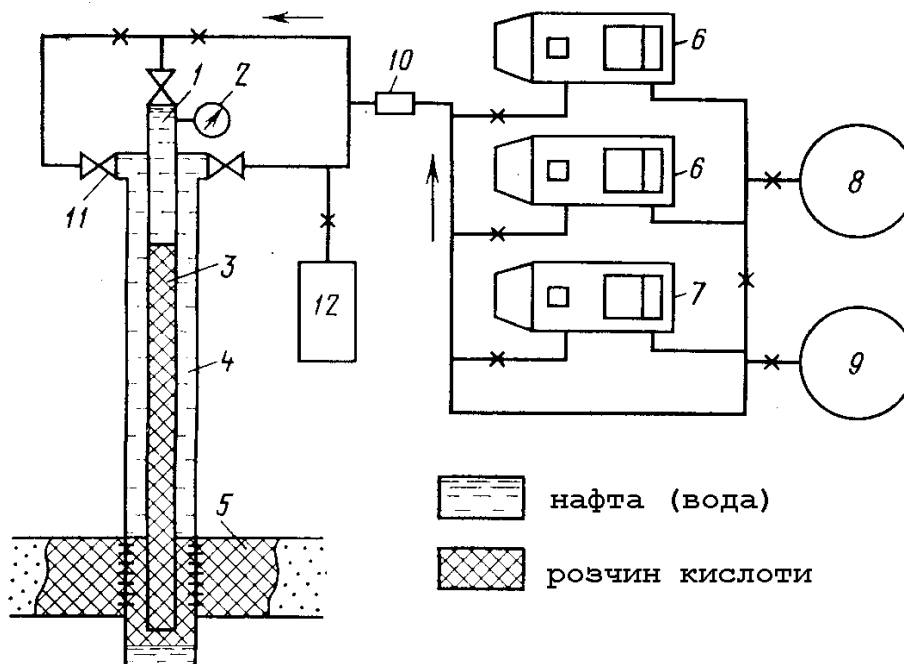


Рисунок 1 – Схема розміщення обладнання при кислотній обробці свердловини:

- 1 – горлова арматура; 2 – манометр; 3 – насосно-компресорні труби;
- 4 – затрубний простір; 5 – пласт; 6 – кислотовози; 7 – насосний агрегат;
- 8 – ємність із кислотою; 9 – ємність з рідиною для продавленого;
- 10 – зворотний клапан, 11 – засувка; 12 – компресор

Кислотний розчин готується в такому порядку. Чан, розрахований на заданий об'єм кислотного розчину, заповнюють необхідним об'ємом води. У воду додають потрібну кількість інгібітора, потім стабілізатора і

сповільнювача при постійному перемішуванні. І тільки у приготовлений розчин додають розрахунковий об'єм кислоти.

Свердловину шляхом прямої циркуляції через НКТ нагнітають КР в об'ємі НКТ, закривають засувку на затрубному просторі і нагнітають решту запланованого об'єму кислоти та продавлюваної рідини. Після нагнітання всього об'єму рідин закривають буферну засувку свердловини, від'єднують насосні агрегати й іншу спецтехніку, за необхідності витримують кислоту у свердловині певний час і розпочинають очищення привибійної зони від продуктів реакції шляхом створення припливу зі свердловини. При обробці високотемпературних свердловин вимивання кислоти необхідно проводити одразу. Для виклику припливу використовують компресор, приєднаний до свердловини.

У насосних свердловинах, які експлуатуються глибинними насосами, після продавлювання кислотного розчину у пласт і зниження тиску піднімають НКТ, опускають глибинне обладнання і видаляють продукти реакції насосом, встановивши раціональний режим експлуатації. Невчасне видалення продуктів реакції з пласта зазвичай зумовлює зменшення ефективності солянокислотних обробок, особливо глинокислотних.

Нагнітальні свердловини відкривають з таким розрахунком, щоб кислота вилася зі свердловини, понижують рівень за допомогою аеризації заганяють кислоту далі в пласт шляхом нагнітання води.

## 4 ПЛАН РОБОТИ НА ПРОВЕДЕННЯ КИСЛОТНОЇ ОБРОБКИ. ТЕХНОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ КИСЛОТНОЇ ОБРОБКИ

### 4.1 План роботи на проведення кислотної обробки

Таблиця 1 – План роботи на проведення кислотної обробки у свердловині № X родовища У

№ з/п	Назва роботи	Відповідальний
1	2	3
1	Опресування викидних ліній трубного і затрубного простору і ФА до корінної засувки на розрахунковий тиск МПа	Відповідальний – ІТП ГПУ
2	Опресування газового шлейфу свердловини на розрахунковий тиск МПа	Відповідальний – ІТП ГПУ
3	Завезення на свердловину ємності визначеного об'єму, м <sup>3</sup>	Відповідальний – ІТП УБР
4	Виділення автоцистерни 4ЦР-7 для завезення води	Відповідальний – ІТП УБР
5	Завезення прісної води для проведення обробки.	Відповідальний – ІТП УБР
6	Заміна промивної рідини в свердловині на воду.	Відповідальний – УБР
7	Для виконання робіт забезпечити : а) агрегат 4АН-700 – 1 шт., б) агрегат ЦА-320 – 2 шт., в) кислотовоз Азінмаш-30А – 1 шт., г) соляної кислоти 24 % – 6 м <sup>3</sup> , д) плавикова кислота 40 % – 240 л, е) катапін – 30 л, ж) превоцел – 200 л	
8	Обв'язування агрегатів відповідно до типової схеми обв'язки при проведенні кислотних обробок	
9	Приготування 0,35 % водного розчину ПАР в ємності	
10	Приготування кислотних розчинів: а) влити в обидва відсіки кислотовоза по 15 л катапіну і 100 л превоцелу. Перемішати розчин; додати по 120 л плавикової кислоти і знову перемішати розчин; б) закачати в чани агрегатів ЦА-320 по 3 м <sup>3</sup> прісної води, потім з кислотника додати 3 м <sup>3</sup> соляної кислоти (відкачати в мірники ЦА-320 по 1,5 м <sup>3</sup> соляної кислоти і закачати по 1,5 м <sup>3</sup> прісної води). Перемішати розчин і одержати 12 м <sup>3</sup> глиноокислоти (на 12 % соляний і на 2 % фтористоводневий).	

Продовження таблиці 1

1	2	3
11	Опресування нагнітальної лінії і фонтанної арматури до базової засувки	
12	При відкритих засувках трубного і затрубного простору закачати в НКТ 3 м <sup>3</sup> розчину ПАВ, потім приготований розчин 12 % соляної кислоти	
13	Після прокачування кислоти до інтервалу перфорації закрити засувку на затрубному просторі, продавити розчин кислоти в продуктивний пласт розчином ПАВ. Тиск продавлювання розчину в пласт не повинен перевищувати граничного тиску (замість розчину ПАВ можна використати конденсат, але це небезпечно з погляду пожежної безпеки)	
14	Після продавлювання розчинів кислот у продуктивний пласт освоїти свердловину з наступною продуванням її від продуктів реакції	
15	Після очищення свердловини на факел пустити її в роботу на УКПГ	
16	Для роботи на свердловині забезпечити: чоботи гумові – 2 пари, фартух гумовий – 2 шт., окуляри захисні – 2 шт., сода питна – 500 г, рушники, мило – по 1 шт., рукавички гумові – 2 пари. Перед початком робіт відповідальному провести інструктаж з робітниками, зайнятими на роботах, із занесенням у журнал інструктажу. Роботи проводити в присутності представників УБР і ГПУ	
	Відповідальний: начальник ЦИТС	Підпис
	Начальник технологічного відділу	Підпис
	Начальник геологічного відділу	Підпис
	Старший геолог ГПУ	Підпис

## 5 РОЗРАХУНОК ОБРОБКИ СВЕРДЛОВИНИ РОЗЧИНОМ СОЛЯНОЇ КИСЛОТИ

Розрахуємо соляно-кислотну обробку свердловини. Вихідні дані для розрахунку надані в таблиці 2.

Таблиця – 2 Вихідні дані

Найменування параметра	Літерні позначення	Одиниці вимірювання	Чисельне значення
1 Глибина свердловини	H	м	2 240
2 Ефективна потужність пласта	$h_{\text{эф}}$	м	6
3 Пластовий тиск	$P_{\text{пл.}}$	МПа	19,4
4 Загальна потужність пласта	h	м	12
5 Висота зумпфа	$h_z$	м	10
6 Діаметр свердловини	$D_{\text{скв}}$	мм	168
7 Діаметр насосно-компр. труб	$d_{\text{нкт}}$	мм	73
8 Концентрація кислотного розчину	X	%	10
9 Норма витрат кислотного розчину на 1 м	N	м <sup>3</sup> /м	1,28
10 Концентрація HCl	Z	%	15
11 Коефіцієнт проникності	$K_{\text{пр}}$	мкм <sup>2</sup>	0,023

Спочатку обробляють добре проникний поруватий карбонатний пласт 15 %-вим розчином соляної кислоти з розрахунку 1 м<sup>3</sup> розчину на 1 м товщини пласта. Щільність кислоти при 25 ° С  $\rho_{25} = 1\,134$  кг/м<sup>3</sup>. Унаслідок близькості пластової води нижні 10 м продуктивного пласта не обробляють.

1. Визначимо потрібну кількість кислотного розчину для обробки однієї свердловини за формулою:

$$V_{\text{кр}} = N \cdot h_{\text{эф}}, \text{ м}^3,$$

де N – норма витрат на 1 м ефективної потужності пласта, м<sup>3</sup>/м;

$h_{\text{эф}}$  – ефективна потужність пласта, м.

$$V_{\text{кр}} = 1,28 \times 6 = 7,68 \text{ м}^3.$$



2. Користуючись таблицею В. Г. Уметбаєва «ГТМ при експлуатації свердловин», визначимо обсяг кислоти необхідний для отримання потрібного обсягу кислотного розчину і необхідну кількість води.

Таблиця 3 – Розрахункова кількість кислоти і води для приготування 1 000 л розчину кислоти запланованої концентрації

Вихідна концентрація товарної кислоти, %	Запланована концентрація кислоти				
	8 %	10 %	12 %	15 %	20 %
21	382	477	570	715	952
	618	523	430	285	48
22	362	455	546	685	909
	638	545	454	315	91
23	384	435	520	652	870
	652	565	480	348	130
27	296	370	444	556	741
	704	630	556	444	259
29	272	345	408	510	680
	728	655	592	490	320
30	263	329	395	493	658
	737	671	605	507	342
32	247	309	370	463	617
	753	691	630	537	383
33	238	298	357	446	599
	762	702	643	554	401

Для обробки свердловини потрібно приготувати 10 %-вий робочий розчин кислоти. На кислотній базі або свердловині є товарна концентрована кислота 27 %-вої концентрації. Потрібно визначити кількість кислоти і води для приготування 10 %-го розчину.

Для цього від цифри 27 (табл. 3) проводимо горизонтальну, а від цифри 10 – вертикальну лінії.

На перетині двох ліній знаходимо: для приготування 1 000 л 10 %-го робочого розчину кислоти потрібно 370 л товарної кислоти і 630 л води, де  $W_{кр} = 370$  л;  $W_{в} = 630$  л.

3. Визначимо обсяг товарної концентрованої кислоти для 10 % розчину за формулою:

$$W_k = A \cdot X \cdot V_{кр} \cdot (B - X) / B \cdot Z \cdot (A - X), \text{ м}^3,$$

де  $A$  і  $B$  – числові коефіцієнти;

$$A = 214, B = 226;$$

$X$  – концентрація соляно-кислотного розчину, %;

$Z$  – концентрація товарно-соляної кислоти, %;

$V_{кр}$  – обсяг кислотного розчину для обробки однієї свердловини,  $\text{м}^3$ .

$$W_k = 214 \times 10 \times 7,68 \times (226 - 10) / 226 \times 15 \times (214 - 10) = 4,8 \text{ м}^3.$$

4. Як інгібітор, застосовуємо Унікол-2, визначаємо потрібну кількість інгібітору за формулою:

$$Q_y = 74 \times b \cdot X \cdot V_{кр} / (A - X), \text{ дм}^3;$$

де  $b$  – відсоток добавки У-2 в соляну кислоту;

$$Q_y = 74 \times 5 \times 10 \times 7,68 / (214 - 10) = 139,3 \text{ дм}^3.$$

5. Щоб унеможливити випадіння солей заліза в соляну кислоту, додаємо оцтову кислоту. Визначаємо кількість оцтової кислоти за формулою:

$$Q_{ук} = 1\,000 \times b \cdot V_{кр} / C, \text{ дм}^3;$$

$$b = f + 0,8, \%$$

де  $f$  – вміст солей заліза в соляній кислоті, %;

$$f = 0,7 \%$$

$$b = 0,7 + 0,8 = 1,5 \%$$

$C$  – концентрація оцтової кислоти, що додається в розчин;

$$C = 80 \%$$

$$Q_{ук} = 1\,000 \times 1,5 \times 7,68 / 80 = 144 \text{ дм}^3$$

6. Для розчинення в породі кременистих з'єднань, щоб попередити їхнє випадіння в осад у вигляді гелю кременистої кислоти, додаємо до соляної

кислоти фтористоводніву кислоту HF. Визначаємо потрібну кількість HF за формулою:

$$Q_{\text{HF}} = 1\,000 \times b \cdot V_{\text{кр}} / n, \text{ дм}^3;$$

де  $b$  – відсоток добавки HF до обсягу розчину, дорівнює 1 %;

$n$  – концентрація HF, дорівнює 60 %;

$$Q_{\text{HF}} = 1\,000 \times 1 \times 7,68/60 = 128 \text{ дм}^3 .$$

7. У товарній кислоті міститься домішка  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в кількості 0,6 %, яка утворюється після реакції з вуглекислою і вапняком. Утворений гіпс  $\text{CaSO}_4$  у вигляді кристалів закупорює пори пласта. Щоб унеможливити випадіння гіпсу, до соляної кислоти додають  $\text{BaCl}_2$ . Визначаємо необхідну кількість  $\text{BaCl}_2$  за формулою:

$$Q_{\text{BaCl}_2} = 21,3 \times V_{\text{кр}} \cdot a \cdot X/(Z - 0,02), \text{ кг};$$

де  $A$  – 0,6 % вміст  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в соляній кислоті.

$$Q_{\text{BaCl}_2} = 21,3 \times 7,68 \times 0,6 \times 10/(15 - 0,02) = 65,52 \text{ кг}.$$

8. Як інтенсифікатор, для зниження поверхневого натягу на межі двох середовищ (нафта – порода ) застосовується реагент ПБ-10, який одночасно є інгібітором, що знижує швидкість реакції між кислоту і породою і сприяє більш глибокому проникненню кислоти в породу. Кількість ПБ-10 визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{ПБ-10}} = V_{\text{кр}} \cdot b, \text{ дм}^3;$$

де  $b$  – відсотковий уміст ПБ - 10 в кислотному розчині, дорівнює 0,01 %;

$$Q_{\text{ПБ-10}} = 7,68 \times 0,01 = 0,0768 \text{ дм}^3.$$

9. Визначаємо обсяг води для приготування необхідного кислотного розчину:

$$V_{\text{в}} = V_{\text{кр}} - W_{\text{кр}} - \sum Q_{\text{доб}}, \text{ м}^3;$$

де  $Q_{\text{доб}}$  – сумарна витрата всіх добавок;  $\text{м}^3 / 1\,000$ ;

$$Q_{\text{доб}} = 139,3 + 144 + 128 + 65,52 + 0,0768 = 0,4768 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{в}} = 7,68 - 0,37 - 0,4768 = 6,8332 \text{ м}^3.$$

10. Для ізоляції зумпфа свердловини застосовується бланкет. Бланкет – водний розчин хлористого кальцію, щільність  $1\,200 \text{ кг/м}^3$ ;

$$V_{\text{бл}} = (\pi D^2 / 4) \times h_3, \text{ м}^3;$$

де  $D$  – внутрішній діаметр свердловини, м;

$h_3$  – висота зумпфа свердловини, м;

$$V_{\text{бл}} = (3,14 \times 0,1682^2 / 4) \times 10 = 0,22 \text{ м}^3.$$

Для отримання  $1 \text{ м}^3$  розчину хлористого кальцію зі щільністю  $1\,200 \text{ кг/м}^3$  потрібно  $540 \text{ кг}$  хлористого кальцію і  $0,66 \text{ м}^3$  прісної води. Для ізоляції зумпфа можна застосувати таку кількість хлористого кальцію:

$$M_{\text{CaCl}_2} = 540 \times V_{\text{бл}}, \text{ кг};$$

$$M_{\text{CaCl}_2} = 540 \times 0,22 = 118,8 \text{ кг}.$$

Потрібна кількість води для розчину:

$$V_{\text{вCaCl}_2} = 0,66 \times V_{\text{бл}}, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{вCaCl}_2} = 0,66 \times 0,22 = 0,1452 \text{ м}^3.$$

11. До закачування розчину соляної кислоти свердловина повинна бути заповнена нафтою. Розчин повинен заповнити свердловину діаметром  $0,05 \text{ м}$ , довжина якої становить  $100 \text{ м}$  ( $L_{\text{в.л}}$ ).

$$V_{\text{в.л}} = (\pi D^2 / 4) \cdot L_{\text{в.л}}, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{в.л}} = (3,14 \times 0,052 / 4) \times 100 = 0,2 \text{ м}^3.$$

12. Кислота повинна заповнити НКТ до верхніх перфораційних отворів. Обсяг НКТ визначаємо за формулою:

$$V_{\text{НКТ}} = (\pi d^2 / 4) \cdot L_{\text{НКТ}}, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{НКТ}} = (3,14 \times 0,0732 / 4) \times 2240 = 9,37 \text{ м}^3.$$

13. Кислота повинна заповнити свердловину від покрівлі до підшови пласта. Обсяг забою визначаємо за формулою:

$$V_{\text{заб}} = (\pi D^2 / 4) \cdot h, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{заб}} = (3,14 \times 0,1682 / 4) \times 12 = 0,26 \text{ м}^3.$$

14. Устя свердловини герметизують, розчин під тиском закачують у свердловину продавочною рідиною в обсязі, що дорівнює:

$$V_{\text{пр}} = V_{\text{в.л}} + V_{\text{НКТ}} + V_{\text{заб}}, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{пр}} = 0,2 + 9,37 + 0,26 = 9,83 \text{ м}^3.$$

15. Для соляно-кислотної обробки застосовують агрегат Аз – ЗОА. Для збільшення ефективності кислотного впливу на породу потрібно, щоб активна кислота розповсюджувалася на більшу відстань від свердловини. Радіус обробленої зони збільшується зі збільшенням швидкості закачування. Крім того, збільшення подачі насоса при закачуванні знижує час контакту кислоти з обладнанням і зменшує корозію останнього.

Режим роботи агрегата обирають таким, щоб тиск, створюваний насосом, був достатній для продавлювання розчину в пласт при максимально можливій його подачі. У таблиці 4 наведено характеристики агрегату Азінмаш – А50.

Таблиця 4 – Технічна характеристика агрегату Азінмаш А50

Швидкість	Плунжери діаметром 100 мм		Плунжери діаметром 120 мм	
	Теоретична подача насоса, л/с	Тиск, МПа	Теоретична подача насоса, л/с	Тиск, МПа
II	2,50	47,6	3,60	33,2
III	4,76	25,0	6,85	17,4
IV	8,48	14,0	12,22	9,7
V	10,81	11,0	15,72	7,6

16. Після зупинки свердловини на реагування, свердловину освоюють – очищують від продуктів реакції шляхом поршнування або промивання. Потім свердловину досліджують на приплив для оцінки ефективності соляно-кислотної обробки.

Радіус проникнення кислоти визначається за формулою:

$$R_{\text{пр}} = 0,5 \cdot \sqrt{(V_{\text{кр}} + 0,785 \cdot K_{\text{пр}} \cdot D_{\text{скв}}^2 \cdot h_{\text{эф}}) / (0,785 \cdot K_{\text{пр}} \cdot h_{\text{эф}})}, \text{ м};$$

$$R_{\text{пр}} = 0,5 \sqrt{(7,68 + 0,785 \times 0,023 \times 0,168^2 \times 6) / (0,785 \times 0,023 \times 6)} = 8,434 \times 0,5 = 4,21 \text{ м.}$$

## ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У розрахунково-графічній роботі подані пропозиції щодо підвищення продуктивності свердловин щодо відобутку нафти шляхом збільшення проникності порід привибійної зони свердловин, а також наведено план здійснення процесу обробки соляною кислотою ПЗП видобувної нафтової свердловини.

Для поліпшення проникності було обрано хімічний метод збільшення проникності порід привибійної зони свердловин. Обробка соляною кислотою дає хороші результати в слабопроникних гірських породах.

Радіус проникнення кислоти дорівнює 4,21 метри.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія видобування, зберігання і транспортування нафти і газу : навч. посібник / О. І. Адарчук, О. О. Акульшинко, В. С. Бойков, В. М. Дорошенко, Ю. О. Зарубін. – Івано-Франківськ : Факел, 2008. – 434 с.
2. Бойко В. С. Довідник з нафтогазової справи. – Львів, 1996. – 620 с.
3. Наливайко О. І. Фізика пласта. Фізика нафтового, газового та газоконденсатного пласта (нафтогазова механіка) : навч. посібник / О. І. Наливайко, А. М. Мангура, Л. Г. Наливайко. – Полтава : ПолтНТУ, 2016. – 320 с.
4. Попадюков Р. М. Розрахунок збору та підготовки нафтопромислової продукції : збірник задач / Р. М. Попадюков – Київ : ІФДТУНГ, 1976. – 935 с.
5. Сборник задач по технологии и технике нефтедобычи / И. Т. Мищенко и др. – Москва : Недра, 1973.
6. Логинов Б.Г. Интенсификация добычи нефти методом кислотной обработки. – М.: Гостоптехиздат, 1951. – 245 с.
7. Лабораторний практикум із фізики нафтового, газового та газоконденсатного пласта : навч.-методич. посібник / О. І. Наливайко, О. В. Ромашко, Н. І. Капцова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова [та ін.]. – Харків : ФОП Панов А.М., 2019. – 86 с. ISBN 987-617-7859-15-3

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
до організації самостійної роботи, проведення практичних занять,  
виконання розрахунково-графічної роботи  
з навчальної дисципліни

**«НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
НАФТОВИХ, ГАЗОВИХ ТА ГАЗОКОНДЕНСАТНИХ  
РОДОВИЩ»**

*(для студентів I курсу другого (магістерського) рівня  
вищої освіти денної і заочної форм навчання  
спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології)*

Укладачі: **НАЛИВАЙКО** Олександр Іванович,  
**РОМАШКО** Олександр Васильович

Відповідальний за випуск *І. І. Капцов*  
Комп'ютерне верстання *О. В. Ромашко*

План 2021, поз. 519М

---

Підп. до друку 24.09.2021. Формат 60 × 84/16.  
Електронне видання. Ум. друк. арк. 1,4.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.