

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

_____ (інститут)
_____ геологорозвідувальний
_____ (факультет)
Кафедра _____ нафтогазової інженерії та буріння
_____ (повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня _____ магістр
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента _____ Могильний Олег Олександрович
_____ (ПІБ)
академічної групи _____ 184М-18-1
_____ (цифр)
спеціальності _____ 8.184 «Гірництво»
_____ (код і назва спеціальності)
спеціалізації¹ за освітньо-професійною програмою _____ Буріння свердловин
_____ (за наявності)
_____ (офіційна назва)
на тему Удосконалення технології безтрубного кріплення стінок свердловин
_____ (назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Хоменко В.Л.			
розділів:				
Охорона праці	Безпачасний О.В.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Расцветаев В.О.			

Дніпро
2019

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

нафтогазової інженерії

та буріння

(повна назва)

Коров'яка Є.А.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » 20 _____ року

ЗАВДАННЯ**на кваліфікаційну роботу****ступеня магістр**

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Могильний О.О. академічної групи 184М-18-1
(прізвище та ініціали) (шифр)спеціальності 8.184 «Гірництво»спеціалізації¹ за освітньо-професійною програмою Буріння свердловин
(за наявності)на тему Удосконалення технології безтрубного кріплення стінок свердловин

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
1	Сучасний стан досліджень в області електрохімічного закріплення гірських порід	01.10.2019-30.10.2019
2	Основи електрохімічного закріплення гірських порід	
3	Класифікація порід за способами фізико-хімічного закріплення	01.11.2019-15.11.2019
4	Технології електрохімічного закріплення порід	16.11.2019-30.11.2019
5	Розрахунок економічної ефективності застосування технології електрохімічного закріплення	01.12.2019-18.12.2019
6	Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях	

Завдання видано

(підпис керівника)

Хоменко В.Л.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

12.10.2019

Дата подання до екзаменаційної комісії

18.12.2019

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Могильний О.О.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота 74 стор., 21 рис., 6 табл., 79 бібл.

Метою роботи є аналіз існуючих способів електрохімічного способу ліквідації ускладнень і розробка рекомендацій з їх удосконалення.

Для цього потрібно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан досліджень в області електрохімічного закріплення гірських порід.
2. Порівняти існуючі технології електрохімічного закріплення порід.
3. Розробити рекомендації з удосконалення технології електрохімічного закріплення свердловин.

Об'єкт дослідження – електрохімічний спосіб ліквідації ускладнень.

Предмет досліджень – схеми розташування електродів при електрохімічному способі ліквідації ускладнень.

Засоби дослідження – аналіз літератури, виробничого досвіду і теоретичні дослідження.

Інноваційність роботи полягає в розробці технології електрохімічного закріплення стінок свердловин, яка до цього застосовувалась тільки для закріплення ґрунтів в будівництві.

Практичне значення роботи полягає в розробці рекомендацій з безтрубного кріплення свердловини для конкретних умов, а також виробці критеріїв оптимізації для вибору схеми розташування електродів при електрохімічному кріпленні свердловин.

Розглянута роль постійного струму в закріпленні ґрунту, фізико-хімічні процеси, формування мінералів і структур, а також закріплення глиноцементних паст при впливі постійного струму. Приведена класифікація порід за способами фізико-хімічного закріплення. Крім того проаналізовані існуючі технології електрохімічного закріплення порід. А саме технології В.І. Бондаренко, Н.І. Тіткова і А.С. Коржуєва, а також М.К. Раскопіна.

Розроблені рекомендації з удосконалення технології електрохімічного закріплення бурових свердловин. Обрані критерії оптимізації – мінімальні опір закріпленого ґрунту і витрати електроенергії.

ЛІКВІДАЦІЯ УСКЛАДНЕНЬ, ТАМПОНУВАННЯ, ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ЗАКРІПЛЕННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД.....	6
Висновки за розділом.....	15
2 ОСНОВИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД.....	16
2.1 Роль постійного струму в закріпленні ґрунту.....	16
2.2 Фізико-хімічні процеси.....	21
2.3 Формування мінералів і структур.....	24
2.4 Закріплення глиноцементних паст при дії постійним струмом.....	25
2.5 Висновки за розділом.....	28
3 КЛАСИФІКАЦІЯ ПОРІД ЗА СПОСОБАМИ ФІЗИКО-ХІМІЧНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ.....	29
Висновки за розділом.....	30
4 ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ ПОРІД.....	32
4.1 Технологія проведення вертикальних і похилих гірських виробок по В.І. Бондаренко.....	32
4.2 Технологічні схеми зміцнення стінок свердловин по Н.І. Тіткову і А.С. Коржуєву.....	38
4.2.1 Дослідні випробування.....	38
4.2.2 Перша технологічна схема зміцнення стінок свердловин із введенням спеціальних тампонуючих сумішей.....	42
4.2.3 Друга технологічна схема зміцнення гірських порід на стінках свердловини.....	44
4.3 Технологічні варіанти тампонування свердловин по М.К. Раскопну.....	46
4.4 Оптимізація технології електрохімічного закріплення свердловини.....	53
4.5 Висновки за розділом.....	56
5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ.....	59
Висновки за розділом.....	62
6 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	63
6.1 Безпека праці при будівництві свердловини.....	63
6.2 Пожежна безпека.....	64
6.3 Додаткові вимоги до техніки безпеки при електрохімічному закріпленні.....	66
Висновки за розділом.....	67
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	70

ВСТУП

Актуальність роботи. Буріння свердловин дуже часто стає скрутним із-за виникаючих ускладнень (обвали, тріщини, поглинання промивальної рідини, утворення каверн, прихвати і прижоги снаряда), на ліквідацію яких витрачається 16-18% робочого часу. Окрім втрат часу на простої має місце буріння з низькою продуктивністю, яке обумовлене поглинанням промивальної рідини і неможливістю застосування антивібраційних емульсійних засобів. Високошвидкісна технологія буріння вимагає раціональної конструкції свердловин з мінімальними проміжками між бурильною колоною і стінками свердловини, вільної циркуляції промивальної рідини, правильного її дозування і використання антивібраційних засобів. Абсолютно природно, що без ліквідації ускладнень у свердловинах неможливо досягти високої продуктивності буріння.

Нині групи дослідників працюють над різними способами ліквідації ускладнень (закачування синтетичних смол в ускладнені зони, добавка обважнювачів в промивальні рідини, аерування, додавання прискорювачів в цементні суміші, створення різного роду пакерних пристроїв і змішувачів, задавлювання під великим тиском цементуючих і гермічних речовин в стінки свердловин і так далі). Проте жоден із способів ліквідації ускладнень не може бути рекомендований як універсальний, ефективний і легкодоступний.

У даній роботі проаналізовані існуючі методи електрохімічного закріплення і запропоновані шляхи їх подальшого вдосконалення.

Метою роботи є аналіз існуючих способів електрохімічного способу ліквідації ускладнень і розробка рекомендацій з їх удосконалення.

Для цього потрібно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан досліджень в області електрохімічного закріплення гірських порід.
2. Порівняти існуючі технології електрохімічного закріплення порід.
3. Розробити рекомендації з удосконалення технології електрохімічного закріплення свердловин.

Об'єкт дослідження – електрохімічний спосіб ліквідації ускладнень.

Предмет досліджень – схеми розташування електродів при електрохімічному способі ліквідації ускладнень.

Засоби дослідження – аналіз літератури, виробничого досвіду і теоретичні дослідження.

Інноваційність роботи полягає в розробці технології електрохімічного закріплення стінок свердловин, яка до цього застосовувалась тільки для закріплення ґрунтів в будівництві.

Практичне значення роботи полягає в розробці рекомендацій з безтрубного кріплення свердловини для конкретних умов, а також виробці критеріїв оптимізації для вибору схеми розташування електродів при електрохімічному кріпленні свердловин.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Потреба в поліпшенні фізико-механічних властивостей дисперсних осадових порід обумовлена тим, що вони мають дуже низькі механічні характеристики, а деякі – явно вираженими цпівучими властивостями. Останні істотно ускладнюють проведення свердловин.

Дисперсні породи, що включають дисперсну фазу і дисперсійне середовище, є системою, заснованою на фізико-хімічній взаємодії її складових. Тому поліпшення фізико-механічних властивостей дисперсних осадових порід повинне базуватися на фізико-хімічній дії на них.

До відомих фізико-хімічних методів дії на дисперсні породи можна віднести: хімічне ін'єкціонування, пропускання постійного електричного струму, магнітна і інша обробка.

Суть хімічного ін'єкціонування полягає в тому, що в дисперсні породи через встановлені ін'єктори (забиті труби або пробурені і спеціально обладнані свердловини) нагнітають під тиском малов'язкі хімічні розчини, здатні в строго встановлені терміни отверждатися в поровому просторі порід і надавати їм міцність, водостійкість і водонепроникність.

Слід виділити два основні напрями в ін'єкції дисперсних порід. Перший заснований на хімічному закріпленні порід неорганічними високомолекулярними з'єднаннями, в основі яких силікатні розчини і їх похідні. Другий, порівняно новий, базується на застосуванні органічних полімерів – таких як мочевино-формальдегідних, фенол-формальдегідних, резольних, акрилових і ін.

Хімічне закріплення дисперсних порід неорганічними високомолекулярними з'єднаннями, у свою чергу, має два різновиди, що відрізняються за технологією приготування і насичення гірського масиву. Перший різновид – двофазна силікатизація – застосовується при закріпленні маловологих і водонасичених пісків з коефіцієнтами фільтрації 2-80 м/доб. Міцність закріплених порід на одновісне стискування досягає 1,5-5,0 МПа. Здійснюється двофазна силікатизація почерговим нагнітанням розчину силікату натрію щільністю 1,35-1,45 г/см³ і розчину хлористого кальцію щільністю 1,26-1,28 г/см³. Основоположником цього способу є Г. Юстен, в 1929 р. що застосував двофазну силікатизацію на калійній копальні в Німеччині. Великі дослідження в цьому напрямі були проведені радянськими ученими Б.А. Ржаніциним і М.І. Стаматіу [52, 60]. Механізм двофазної силікатизації загальновідомий.

Другий різновид – однорозчинна силікатизація, запропонована В.Е. Соколовичем в 1939 р. Суть способу однорозчинної силікатизації полягає в нагнітанні в закріплювану породу розчину силікату натрію із заздалегідь введеною в нього хімічною добавкою, що приводить в строго певний час до утворення гелю кремнієвої кислоти, що цементує породу. Як коагулятори для затвердіння розчину силікату натрію застосовуються розчини кислот, кислих солей і органічні речовини.

В.Е. Соколович стверджує, що можливе приготування двох видів цементуючих гелів кремнієвої кислоти: лужних і кислих [56]. Лужні гелі готуються

шляхом введення в силікатний розчин отверджувачів, кислі – при введенні силікатного розчину в ті, що розводять розчини кислот.

У лужному середовищі перехід золи в гель відбувається при нейтралізації луку від 25 до 45% при значенні $\text{pH} > 10,5$, і кислому середовищі – при $\text{pH} = 3,5-5,5$ [19].

Дослідженнями, виконаними В.Є. Соколовичем, показано, що на швидкість гелеутворення істотний вплив чинять характер кислоти, концентрація розчину силікату натрію; у лужних силіказолях із зменшенням їх концентрації при однакових значеннях pH час гелеутворення зростає. При підвищенні температури час гелеутворення зменшується. В'язкість силіказолей невелика – 1,4-4,5 сП. Позитивним моментом силіказолей є те, що в процесі полімеризації в'язкість їх практично не змінюється, і тільки у момент початку утворення гелю в'язкість різко збільшується.

Гелі кремнієвої кислоти мають великий синерезис, причому лужні у декілька разів більший, ніж кислі. В.Є. Соколович встановив, що, незважаючи на синерезис, що має місце в гелях, при хімічному закріпленні зближення полімерних ланцюгів кремнієвої кислоти в порах порід не відбувається, оскільки цьому зближенню перешкоджатиме армуюча дія скелета порід, поверхня яких активно взаємодіє з гелем кремнієвої кислоти, що утворився. Полімерні ланцюги кремнекислоти як би «зависають» в поровому просторі закріпленої породи і втрачають здатність до взаємного зближення [56].

Дослідження Л.А. Євдокимової [20] показали, що на ефективність закріплення чинять істотний вплив гідратовані плівки кремнекислоти, що знаходяться на поверхні піщаних часток в незайманому масиві. І якщо ці плівки зняти шляхом спеціальної хімічної обробки, то якість закріплення різко погіршується. Л.А. Євдокимова вважає, що при силікатизації пісків відбувається надбудова гелю, що утворюється, до гідратованого пару кремнекислоти, що знаходиться на поверхні кварцових зерен. Головні хімічні компоненти речовини плівки – окисел кремнію, глинозем і окисел заліза [14]. Оксиди заліза, як стверджує С.Д. Воронкевич, складають значну частину плівки, досягаючи 60-65 %. Найбільшого поширення набула алюмосилікатна і кремнефтористосилікатна рецептура, а останніми роками починають застосовувати золи з органічними отверджувачами.

Хімічний вплив силікатними розчинами передбачає, як правило, наявність крупнодисперсних і грубодисперсних осадових порід (пісків, пісків з незначним змістом пилюватої і глинистої фракції). Коефіцієнт фільтрації не нижче 0,1 м/доб. Головними напрямками досліджень в хімічному закріпленні є розробка нових, ефективніших рецептур на основі органічних складових, з обліком мінеральною, хімічного і петрографічного складів. Так, наприклад, карбонатні породи не закріплюються кислими розчинами, а загіпсовані породи протипоказано закріплювати лужними розчинами. Одним з кращих є кремнефтористосилікатний гель, що має лужну реакцію і незначну величину синерезису.

За допомогою хімічних способів закріплення дисперсних порід створена найбільша у світі протифільтраційна завеса в основі Асуанської греблі; об'єм закріплення порід склав, близько 2 млн. м³. Велика заслуга в розвитку цього

способу належить співробітникам НДІОСПа В.Е. Соколовичу, Б.А. Ржаніцину та ін.

У зарубіжній практиці хімічне закріплення дисперсних порід отримало застосування у Франції, США, Японії, Англії, ФРН, Польщі і низці інших країн. Особливо великі об'єми хімічного закріплення виконувалися у Франції фірмою «Солетанш», яка застосовувала випереджаюче закріплення порід при проходці тунелів. За даними [56], найбільші об'єми робіт по хімічному закріпленню дисперсних порід виконувалися в СРСР. Щорічно закріплювалося близько 50 тис. м³ лісових порід і близько 20 тис. м³ піщаних. Практично усі ці роботи торкаються підстав і фундаментів, а в гірській справі їх використання носить епізодичний характер.

Нині зусилля учених спрямовані на дослідження ефективних і економічно вигідних хімічних способів глибинного закріплення. У свою чергу, зростання хімічної силікатної промисловості створює сприятливі передумови для забезпечення хімічного закріплення доступними реагентами, що дозволить збільшити об'єм впровадження як в будівництві, так і в гірничодобувній промисловості.

За кордоном за допомогою хімічного закріплення покращуються властивості дисперсних порід в об'ємі 35 тис. м³ в рік.

Хімічне закріплення синтетичними смолами. Основні положення теорії закріплення дисперсних порід смолами були вивчені при розробці дорожніх покриттів і усебічно проаналізовані в працях М.Г. Кострико [32]. Надалі в цьому напрямі працювали учені В.М. Безрукий, Н.І. Черкасов, Л.А. Марков, С.С. Морозов, Б.М. Гуменский, В.Є. Соколович та ін. [3, 19, 32, 38, 40, 58, 67]. Цими ученими закладений початок теоретичного обґрунтування процесу, взаємодії дисперсних порід з органічними полімерами при перемішуванні порід (поверхневому закріпленню).

Встановлено, що при закріпленні порід розчинами смол відбувається взаємодія макромолекул смоли з мінералами самої породи, на поверхні яких є заряди, що не компенсуються, як правило, негативні (O^{2-} OH⁻) [4]. При цьому можливі три основні типи зв'язків: хімічні, водневі і вандерваальсові.

Хімічний зв'язок має два типи зв'язку між атомами: іонну і ковалентну. Іонний зв'язок виникає в результаті перенесення електронів з одного атома на інший, при цьому утворюються іони, пов'язані між собою електростатичними силами. Такий зв'язок властивий іонним кристалам (NaCl, CaCl₂, та ін.), що складаються з позитивно і негативно заряджених іонів, які розташовані у вузлах кристалічної решітки. При розчиненні цих кристалів у воді відбувається розпад молекул на іони за іонними зв'язками.

Ковалентний зв'язок обумовлений наявністю пари загальних електронів, що зв'язують два атоми. Цей тип зв'язку характерний для більшості органічних сполук.

Водневий зв'язок. Якщо атом водню приєднаний до атома кисню, азоту або фтору (зв'язки O-H, N-H, F-H), то в такому з'єднанні він придбає полярність і здатність до утворення вторинних зв'язків. Особливо легко цей атом водню вступає в з'єднання з електронегативними атомами інших молекул. Такий зв'язок і називається водневим. Наприклад, в поліуретанах і поліамідах виникає

значне число водневих зв'язків між карбонільними і амінами (NH) групами сусідніх молекул, внаслідок чого поліуретани і поліаміди придбавають високу міцність. Підвищена твердість фенолформальдегідної смоли пояснюється наявністю водневих зв'язків [138]. У молекулі водню однією молекулою з'єднується з атомом кисню інший через зв'язок O-H, який є диполем з позитивним зарядом на водні і негативним на кисні.

Виникнення водневого зв'язку цілком можливо на межі розділу вода – частки породи і полімер-порода за рахунок взаємодії гідроксильних груп, наявних на поверхні мінеральних часток.

Вандерваальсові сили між молекулами утворюються за умови, коли усі валентні орбіти повністю заповнені, тобто у відсутність хімічних зв'язків. В цьому випадку молекули утримуються між собою електростатичними силами. Навколо кожної з них утворюється електронна хмара, яка утримує їх на певній відстані один від одного. Тяжіння молекул обумовлене дипольними, індукційними і дисперсними силами.

Дипольні сили виникають між двома полярними молекулами, що мають дипольний момент, рівний твору величини заряду на відстань між центрами тяжіння зарядів. Негативний полюс однієї полярної молекули притягує до позитивного полюса сусідньої молекули. У високомолекулярних з'єднань дипольний момент може бути великим за рахунок збільшених розмірів, не симетричних по електричній будові молекул. Відповідно зростають і вандерваальсові сили взаємодії.

Індукційні сили утворюються при взаємодії неполярної і полярної молекули. Завдяки впливу полярної молекули на електронну хмару неполярної молекули виникає так званий індукційний диполь.

Дисперсні сили обумовлюються взаємодією миттєвих диполів, утворення яких пов'язане з випадковими відхиленнями електронної щільності в молекулі від середньостатистичного положення.

При хімічній взаємодії утворюється міцніший зв'язок, ніж при взаємодії за участю електростатичних сил. Так, енергія, необхідна для розриву хімічного зв'язку, складає в середньому 50 ккал/моль; водневому зв'язку – 3-10 ккал/моль, а енергія вандерваальсових взаємодій зазвичай не перевищує 1 ккал/моль [38].

Взаємодія гірських порід з хімічними розчинами, залежно від їх виду, має різну основу. Ін'єкція рекомендується переважно для закріплення піщаних порід. Закріплення ж глинистих порід хімічними розчинами можливо тільки методом змішування або електрохімічним. Глинисті породи, зважаючи на їх високу міру дисперсності мають вищу фізико-хімічну активність в порівнянні з піщаними: вони здатні до поглинання і обміну іонів, до гідротизації. Глинисті породи взаємодіють з хімічними розчинами через фізико-хімічні зв'язки.

Піщані породи закріплюються методом ін'єкцій в їх природному заляганні з непорушеною або з порушеною структурою (прориви водонасичених порід в гірські вироблення), в першому випадку відбувається утворення впорядкованої структури закріпленої породи, що супроводжується активною взаємодією функціональних груп макромолекул смоли з мінералами породи. Якщо структура порушена, частинки піску в суміші розташовуються хаотично-

неврегульовано і поверхневі процеси на межі порода-смола протікають менш інтенсивно. Міцність закріпленого піску на одновісне стискування з порушеною структурою в два рази нижче за міцність піску, закріпленого методом ін'єкції з непорушеною структурою [18].

Проникаюча здатність хімічних розчинів в піщану породу залежить від пористості, вмісту в ній глинистої фракції і фізико-хімічної взаємодії розчинів, а також від в'язкості розчинів, що нагнітаються.

Вміст глинистої фракції навіть в незначній кількості (2 %) істотно знижує проникність порід, оскільки відбувається активна фізико-хімічна взаємодія розчину з породою.

Дію електроліту на глинисті суспензії досліджував К.К. Гедройд [15], який встановив, що по силі коагуляційної дії шавлева кислота нижче соляною в 250-500 разів. Це цілком узгоджується з мірою проникності розчинів соляною і шавлевою кислот в породу. Н.А. Блескіна і Б.С. Федоров [4], приводять витрату розчинів смол, що характеризує проникність в породу шавлевої кислоти в 9 разів менше в порівнянні з витратою розчину соляної кислоти.

Чим полярна будова макромолекул смоли і більше в ній функціональних груп, тим активніше ця взаємодія з поверхнею мінеральних часток [38]. Піщані породи в порівнянні з глинистими мають меншу адсорбційну здатність. Їх адсорбційні властивості значною мірою залежать від складу оболонок на поверхні піщаних зерен [42].

Міцність закріплюючих порід в основному залежить від фізико-хімічних процесів, що відбуваються на межі радіусу порода-смола, а також від міцності самого гелю і міри заповнення пір породи розчином. Міцність, як встановила Е.І. Борисова [11], зростає із зміною: молекулярних зв'язків між макромолекулами смоли і мінералами породи; кількості розчину, пропущеного через одиницю об'єму породи; в'язкості розчину, кількості дрібних каплярів і пір в породі.

Напрямок подальших досліджень способу хімічного закріплення порід синтетичними смолами базується на розробці нових, дешевших, хімічних розчинів, використанні відходів хімічної і металургійної промисловості.

Метод закріплення порід за допомогою постійного електричного струму ефективний для поліпшення властивостей деяких порід, особливо глинистих. Дія постійного струму на глини уперше була досліджена в 1808 р. професором Московського університету Ф.Ф. Рейесом. При накладенні різниці потенціалів він уперше спостерігав явища руху рідини і твердих часток – електроосмос і електрофорез. Після Ф.Ф. Рейеса подібні явища спостерігали Армстронг і Фарадей [5].

Услід за цим були проведені дослідження по вивченню впливу постійного струму на ґрунти – зміну її хімічного складу і структури (С.П. Кравков, Тихнер, А. Пури, В.Анонд [34]). Було встановлено, що під дією постійного струму збільшується розчинність мінералів і змінюється солоний склад і рН.

П.В. Вершинін і Н.В. Кириленко [12] вивчили вплив органічної речовини в породі на процес закріплення. Вони встановили, що прогрівання і висушування порід при температурі 100-105°C практично не виявляє такої значної дії на

водостійкість порід, яке виникає при обробці породи постійним електричним струмом.

На 1-й Міжнародній конференції з механіки ґрунтів 1936 р. Л. Казагранде [27] було запропоновано підвищувати несучу здатність глинистих ґрунтів в 5-10 разів методом електрохімічного закріплення, пропускаючи через породу постійний електричний струм напругою 300-500 В.

Теоретичне обґрунтування методу електрохімічного закріплення ґрунтів в першому наближенні дали К. Ендель і Е. Гофман [69]. Вони також підтвердили факт поліпшення фізико-механічних властивостей глинистих ґрунтів при пропусканні постійного струму.

У СРСР, починаючи з 1931 р., масштабні дослідження в цьому напрямі були проведені Б.А. Ржанциним Л.И.Курденковим [52]. Велика заслуга цих учених полягає в тому, що вони змінили методику Казагранде і ввели добавки солей в глини, що не закріплюються. Подальше теоретичне обґрунтування методу електрохімічного закріплення порід під дією постійного струму проводилося в Московському державному університеті Б.В. Толстопятовим і А.М. Пчелинцевим [62]. Метод отримав подальше теоретичне обґрунтування. Особлива увага була приділена вивченню зон, що утворюються в породі при пропусканні постійної струму.

Г.Н. Жинкін і В.С. Барків [23] досліджували метод електрохімічного закріплення стосовно залізничних споруд. Ці учені вважали, що разом з обмінними реакціями істотне значення в процесі електрохімічного закріплення має коагуляція колоїдної фракції порід, сприяюча зміні її властивостей.

В результаті досліджень О.П. Горбунова, Л.И. Курденкова та ін. [17], що розкривають закономірності руху води в ґрунтах під впливом постійного електричного струму, була підтверджена обмеженість фізико-математичної концепції Гельмгольца-Смолуховського, що лежить в основі теорії електрокінетичних явищ.

Велика і важлива робота виконана по розвитку експериментальних основ електроосмосу Г.М. Ломізе [36]. Він розробив нову теорію розрахунку і моделювання критичного водопониження при розтині котлованів.

Г.Н. Жинкін і В.Ф. Калгану [24] обґрунтовують те, що інтенсивність фізико-хімічних процесів залежить від гранулометричного складу порід, складу порід, складу поглинених іонів, середовища, вологості і інших чинників, а також дають практичні рекомендації по проектуванню і виробництву робіт по хімічному закріпленню порід.

Велике теоретичне і практичне значення в справі розвитку і широкого впровадження електрохімічного способу в практику будівництва мають роботи Г.Н. Жинкіна. Він уперше досліджував кінетику хімічних і таких, що фізико-хімічних відбуваються в породі при її електрохімічному закріпленні, і встановив межі раціонального застосування деяких різновидів технології цього способу, при яких досягаються стійкі результати. Як основний чинник, що визначає стійкість закріплення, він запропонував міру дисперсності порід.

Значний вклад, в розвиток теорії і впровадження її до практики внесли А.С. Коржуєв і Н.І. Тітков [31]. Дослідження вони присвятили вивченню при-

чин утворення зональності в міжелектродному просторі, що призводять до нерівномірності закріпленої породи. В результаті цих досліджень вони дійшли висновку, що у ряді випадків закріплення порід доцільно проводити елетрообробкою постійним струмом з періодичною зміною полярності (знакозмінними імпульсами). Це, на думку авторів, призводить до рівномірності закріпленої породи. Лабораторні і натурні експерименти по закріпленню стінок бурових свердловин дали добрі результати.

Великий внесок у розвиток теорії електрохімічного закріплення В.В. Чепелев [65]. Вивчивши пересування іонів в електричному полі, він встановив, що швидкості переміщення гідратованих іонів прямо пропорційні їх зарядам і назад пропорційні масам, включаючи масу оболонок гідратів. Їм відкриті закономірності інтенсивності перенесення різних нічних іонів в міжелектродному просторі.

Значні дослідження методу електрохімічного закріплення порід проведені в Національному гірському університеті під керівництвом В.І. Бондаренко. Ними розроблені нові способи і технологія електрохімічного закріплення порід що полягають в періодичній зміні полярності з відповідною зміною напрямку подачі електролітів [6]. Цикл закріплення складається з трьох періодів, приблизно однакових за тривалістю, що включають подачу першого електроліту з добавками, другого електроліту з катализаторами і обробку масиву постійним електричним струмом. Для забезпечення загальних мінімальних витрат часу при знакозмінному закріпленні процес в кожному періоді, між зміною полярності, В.І. Бондаренко рекомендує вести в активній частині. Показниками зниження активності закріплення слугують зменшення щільності струму, швидкості поглинання розчинів і електроосмотичного виділення води.

Пропонований спосіб був реалізований в 1978 р на шахті № 3-5 Марганелького ГЗК при ліквідації прориву обводнених пісків на 254 метрі східного штреку. В результаті електрохімічного закріплення пливун втратив свої текучі властивості по всьому закріпленому обсягом (60 м³). Дослідно-промислові роботи показали, що спосіб закріплення не тільки забезпечує високу якість, але і скорочує на 15-20% тривалість робіт за рахунок ефективного використання найбільш активної частини циклу електрообробки масиву, що закріплюється [72].

Подальшому вдосконаленню електрохімічного закріплення були присвячені роботи В.В. Захарова та А.Я. Яценко. В.В. Захаров в своїх дослідженнях приділив головну увагу процесам, що протікають в масиві при обробці його постійним електричним струмом [73]. З метою підвищення ефективності електрообробки і зниження впливу пасивації електродів на якість закріплення він запропонував проводити зміну полярності при досягненні коефіцієнта пасивності анодів до величини 70-75% та обробляти породу в такому режимі до моменту стабілізації струму кожного електрода, після чого повертати полярність в початкове положення. При цьому ін'єкцію розчинів необхідно виконати з урахуванням параметрів електрообробки. Так, ін'єкцію розчину силікату натрію пропонувалося проводити до збільшення струму між ін'єкторами в 3-4 рази в порів-

нянні з початковим значенням, а нагнітання хлористого кальцію до повної стабілізації струму кожного електрода-ін'єктора.

Для реалізації розроблених положень і автоматизації процесів управління електрохімічного закріплення була створена пересувна установка «ІОН-2» [63], яка дозволяла плавно регулювати величини прикладеного на електроди напруги, управляти полярністю кожного електрода для забезпечення оперативного зміни схеми підключення, візуально контролювати і вимірювати основні параметри закріплення.

Установка ІОН-2 пройшла успішне випробування при спорудженні Червоноповстанського колектора в м Дніпрі. Керуючи процесами електрохімічного закріплення за допомогою цієї установки, вдалося успішно закріпити 1226 м³ обводнених порід і пройти вироблення в складних гідрогеологічних умовах.

А.Я. Ященко вивчив вплив неоднорідного і комбінованого електричних полів на якість закріплення дисперсних порід [74]. В результаті виконаних досліджень він встановив, що при накладенні додаткового електричного змінного поля на електроди надходження в породу закріплюють реагентів збільшується в 2-3 рази. Також було встановлено, що на 40% скорочується тривалість закріплення, в 1,5-2 рази зростає міцність породи і в 2-2,5 рази зменшується її розмокаємість.

Для закріплення нестійких гірських порід при спорудженні гирла стовбурів групою вчених під керівництвом проф. Е.Я. Кіпка розроблена ефективна технологія на основі закономірностей закріплення і водоізоляції різних за літологічного складу порід [28, 75].

В результаті досліджень встановлено, що оптимальне співвідношення межелектродної відстані до радіусу електрода дорівнює 20, а збільшення межелектродної відстані можливо тільки при пропорційному збільшенні радіуса електрода. Була розроблена класифікація гірських порід за ступенем їх придатності для електрохімічного закріплення, отримана емпірична залежність міцності закріплених порід від вихідного питомої електричного опору, а також розроблений новий спосіб закріплення – електрохімічний тампонаж нестійких глинистих порід навколо гирла стовбурів [75]. Цей спосіб був застосований при будівництві вентиляційного стовбура № 6 шахти ім. 60-річчя Ленінського Комсомолу ВО «Гуковуголь». На ділянці було пробурено 90 свердловин діаметром 112 мм на глибину 18 м. Електрохімічний тампонаж виконували в два етапи: спочатку здійснювалася секційна комутація електродів з використанням порядної схеми, а потім групова комутація по лінійної схемою.

Тривалість обробки свердловин склала 9 діб. Крім того, на першому етапі витрачено 41,8 тис. кВт. ч., на другому-82 тис. кВт. ч. На обробку 2020 м³ гірських порід було витрачено 102 м³ розчину силікату натрію.

Проходка стовбура показала, що товщина закріпленої завіси доходила до 2,5 м, найбільший радіус закріплення до 0,65 м, водоприток на глибині 18 м – 0,5 м³/год. В результаті електрохімічного тампонажу породи стали міцніше в 4-5 разів, а коефіцієнт фільтрації зменшився в 5-8 разів.

В умовах залишкових напорів і постійної міграції води ефективність використання електрохімічного закріплення значно знижується через інтенсивне

вимивання закріплюють розчинів з оброблюваного масиву. У зв'язку з цим С.Ф.Власов на базі електрохімічного закріплення розробив нові способи із застосуванням різних фізичних полів, що забезпечують високу якість закріплення слабких порід в умовах фільтрації напірних вод [76]. С.Ф. Власов досліджував вплив вакуумування катодного зони і магнітної обробки закріплюють розчинів на якість закріплення при однорозчинної і двухрастворного електросилікатизації. Встановлено, що найкращу якість закріплення дрібнозернистих пісків і льосів досягається при градієнтах напору від 0,25 до 0,30 МПа/м і вакуумування з градієнтом розрядження 0,07-0,09 МПа/м. Для суглинків ці показники становлять 0,3 МПа/м і 0,09 МПа/м відповідно.

Дослідження впливу магнітної обробки силікату натрію показали, що при напруженості магнітного поля $18 \cdot 10^4$ А/м міцність закріплених порід збільшується в 1,7-2,1 рази, розмокаемость знижується майже в 5 разів, час гелеутворення однорозчинної силікатних композицій скорочується в 2,5 рази.

Розроблений спосіб пройшов успішне випробування на шахті «Верболозовская» ПО «Олександрівугілля» при проведенні вентиляційного штреку, що розкриває свердловину діаметром 1200 мм. Ця свердловина повинна була забезпечити повітрям Північне крило шахтного поля і служити запасним виходом на поверхню. В результаті прориву обводненої породи, обсяг якої склав близько 600 м^3 , були затоплені вентиляційний штрек до повітряної свердловині довжиною 25 м – повністю і другий головний Північний відкаточний штрек – частково.

Роботи по фізико-хімічного закріплення проводилися в два етапи. На першому – пливуні породи, що заповнювали вироблення, на відстані 10 м були переведені шляхом вакуумування і електрообробки з текучого стану в твердопластичне. На другому – після зачистки породи закріплювали фізико-хімічним способом з вакуумуванням катодного зони і магнітної обробкою розчинів по всьому перетину вироблення. Результати досліджень фізико-механічних властивостей зразків, відібраних з різних зон, підтвердили ефективність магнітної обробки закріплюють розчинів. Так, міцність закріплених порід хімічними реагентами з магнітною обробкою складала 1,0-1,5 МПа. Міцність же порід, закріплених звичайним способом, виявилася в 1,5-2 рази нижче і складала 0,5-0,7 МПа.

Подальше вдосконалення способу електрохімічного закріплення отримало в дослідженнях А.Є. Трубакова [77]. Їм вивчено вплив теплового поля на якість закріплення дисперсних порід силікатними композиціями. На підставі виконаних досліджень були розроблені математична модель визначення оптимальної температури процесу закріплення з урахуванням гідрогеомеханічних факторів, а також два нових способи і технологія закріплення пливунних порід навколо гірничих виробок.

Силікатно-термічний спосіб був випробуваний при ліквідації прориву харківських пісків (60 м^3) на 117 м головного Північно-західного штреку шахти «Верболозовская». Закріплення виконувалося за допомогою 12 електроін'єкторів, встановлених в покрівлі виробки за контуром кріплення. Масив розігрівали до температури $90-95^\circ \text{C}$ шляхом пропускання постійного електричного струму, після чого по черзі нагрітали протягом 24 год розчини силікату натрію

щільністю 1340 кг/м^3 і хлористого кальцію щільністю 1160 кг/м^3 . Після закінчення ін'єкції виробляли електро- і термообробку масиву, підтримуючи температуру в зазначених межах. Після проведення закріплення було відзначено зниження водотоку з закріпленої зони приблизно в 2 рази.

Розроблені способи електрохімічного закріплення добре зарекомендували себе в гірничому виробництві. Однак, як показує досвід, в породах з коефіцієнтом фільтрації більше 1 м/добу ефективність постійного електричного струму практично зводиться до нуля.

На завершення аналізу необхідно зазначити, що за рахунок літологічної різниці порід досягти повної гідроізоляції при електрохімічному закріпленні не представляється можливим, тому що від властивостей порід залежить радіус протифільтраційною оболонки.

Крім того, середня товщина цієї оболонки при однорядною схемою закріплення досягає 0,5-0,7 м, що вимагає певного витрати закріплює розчину і електроенергії, трудовитрат на 1 м^3 оброблюваної породи.

До недоліків наведених ін'єкційних способів можна також віднести нестабільність якості протифільтраційних завіс по довжині електроін'єктора, яке в значній мірі залежить від фізико-механічних і гідрогеологічних властивостей порід. Використання електричного струму при обробці порід ускладнюється у зв'язку з неможливістю дотримання всіх правил техніки безпеки при будівництві протифільтраційних завіс. Ефективність протифільтраційною завіси знижується через вимивання закріплюють розчинів і оброблюваного масиву через напорів і постійної міграції води, а також неможливістю прямого контролю за поширенням закріплюють розчинів в міжелектродному просторі.

Все це зумовило необхідність пошуку нових способів створення протифільтраційних завіс, що володіють високими технологічними показниками і низькою собівартістю.

До одного з таких способів відноситься струменеве закріплення порід, що забезпечує високу якість формування протифільтраційних завіс з низьким коефіцієнтом фільтрації порід і відповідно дозволяє створювати необхідні умови для нормальної експлуатації підземних і гідротехнічних споруд.

Висновки за розділом

В цьому розділі проаналізований сучасний стан досліджень в області електрохімічного закріплення гірських порід. Встановлено, що сучасні дослідження в області фізико-хімічної дії на дисперсні породи в цілях зміни їх міцнісних і деформаційних властивостей відмічені певними успіхами. Зокрема, знаходить застосування хімічне закріплення порід неорганічними і органічними речовинами шляхом ін'єкції розчинів в цивільному і промисловому будівництві для поліпшення фізико-хімічних властивостей підстав фундаментів, а також електрохімічне закріплення глинистих і лесових порід при будівництві шахт і підземних споруд.

2 ОСНОВИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

2.1 Роль постійного струму в закріпленні ґрунту

Якщо у вологий ґрунт забити або на його поверхню покласти два металеві електроди і пропустити через них електричний струм, то в ґрунті, ув'язненому між електродами, створюється електричне поле. Це явище відбувається внаслідок того, що ґрунт по відношенню до електричного струму є провідником і електролітом.

Згідно з сучасними уявленнями, тіла, що проводять струм, розділяються на провідники першого і другого роду. Різниця між ними та, що в провідниках першого роду (металах) проходження електричного струму обумовлене рухом вільних електронів, не пов'язаних з атомами речовини, завдяки цьому проходження струму не супроводжується зміною хімічного складу металів. У провідниках другого роду (розчинах) проходження електричного струму пов'язане з пересуванням матеріальних часток і перенесенням іонів до обох електродів. Ґрунти можна віднести до провідників другого роду.

В процесі закріплення ґрунтів дуже важливе значення має питання щільності струму на різних ділянках або розподілі струмових ліній (поле струму).

Для з'ясування картини розподілу струму в ґрунті при різних формах електродів необхідно визначити напрям силових ліній між електродами в цьому середовищі, яке співпадає в усіх точках простору з напрямом напруженості електричного поля.

Дослідження електричного поля виробляється різними методами – аналітичним, графічним і експериментальним, з яких при закріпленні ґрунтів найбільш прийнятним є останній.

На рис. 2.1 представлено поле струму, визначене методом електролітичної моделі між плоскими електродами, розташованими в одній площині, в однорідному середовищі. Одним з методів експериментального вивчення полів струму є метод «запорошених фігур» або фігур Ліхтенберга. Цей метод зручний, наочний і дає можливість отримати конфігурацію поля струму (струмових ліній) для будь-якої форми електродів в однорідному середовищі.

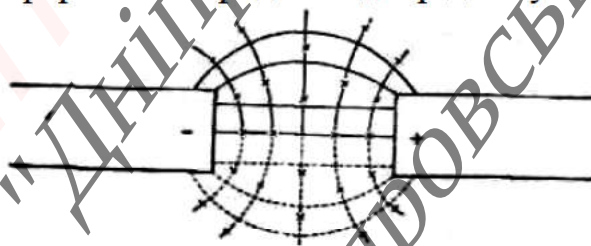


Рисунок 2.1 – Електричне поле між електродами, розташованими в одній площині, в однорідному середовищі; лінії напруженості поля, або лінії струму, позначені хрестиками, лінії, перпендикулярні їм, – сліди екіпотенціальних поверхонь

На рис. 2.2 приведені «запорошені фігури», отримані за допомогою подрібненої слюди для парного числа плоских електродів при різному їх положенні. Геометрію поля струму в ґрунтах при їх електрообробці безпосередньо на виробничих ділянках можна виявити методом зондування.

На рис. 2.3 показано поле струму за даними безпосередніх вимірів методом зондування із зображенням розташування екіпотенціальних ліній і ліній струму в ґрунті між катками-електродами при закріпленні пилуватого делювіального суглинку.

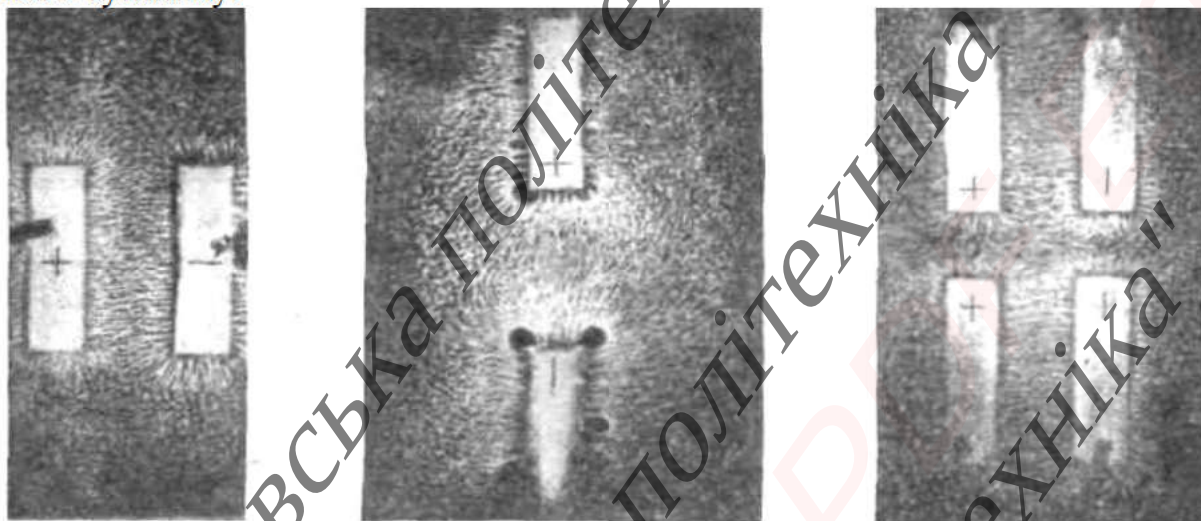


Рисунок 2.2 – «Запорошені фігури», отримані за допомогою подібною сльоди (парне число плоских електродів)

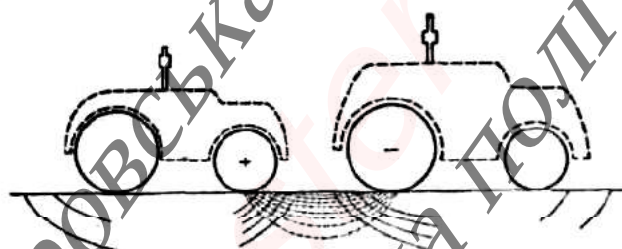


Рисунок 2.3 – Розташування екіпотенціальних ліній (суцільна) і ліній струму (пунктирна) в ґрунті, отриманих безпосередньо виміром в полі

Як показують дослідження, створюване в ґрунті електричне поле має ту ж геометрію, яка спостерігається в інших середовищах [67]. У проведенні струму приймає ділянку головним чином рідка фаза ґрунту – ґрунтовий розчин.

Газоподібна фаза ґрунтів також може проводити струм. Провідність струму газовою фазою ґрунту залежить від міри насичення останній водяними парами і від міри іонізації, яка обумовлюється радіоактивністю земної кори. Окрім іонів, в проведенні електричного струму можуть брати участь і міцели.

Тверду фазу ґрунтів можна розглядати як пористу, нерухому стінку, пори якої діють як сукупність найдрібніших капілярів.

Електропровідність рідкої і газоподібної фаз ґрунтів буде залежати від числа переносників електрики – іонів – і від їх швидкості.

У електричному полі на кожен іон діє сила, рівна добутку іонного заряду і напруги поля. На іони однакової валентності діє однакова електрична сила, але оскільки іони мають різні розміри і різну міру гідратації, вони випробовуватимуть неоднаковий опір, чому швидкість їх руху буде різною. Особливою рухливістю відрізняються H^+ і OH^- . На швидкість перенесення струму іонами великий вплив робить в'язкість або внутрішнє тертя розчину. В'язкість зменшуватиметься при підвищенні температури і збільшуватиметься у міру підвищення концентрації розчину.

Електропровідність колоїдних систем (золів) довгий час відносили за рахунок існування електролітів, що знаходяться в інтерміцелярній рідині. Участь міцел в проведенні електричного струму показав Дюкло [31]. Він порівнював електропровідність золи з електропровідністю отриманого з нього ультрафільтрату (інтерміцелярна рідина) і знайшов, що значна частина електропровідності падає на долю міцел. При проходженні струму через колоїдний розчин або суспензію мікроскопічних часток останні переміщуються до одного з полюсів. При цьому переміщується не уся міцела, а лише ядро частки з внутрішнім обкладанням подвійного шару, так звана гранула. Зовнішній іонний шар (поглинені іони) разом із захопленою їм рідиною переноситься до протилежного полюса. Так само як і у разі звичайного електроліту, електропровідність гранули і противоіонів обумовлюється їх рухливістю.

Проте це явище, що не має нічого спільного з перенесенням іонів і їх розрядом на електродах, відноситься до електрокінетичних явищ, викликаним рухом матерії, електрофоретичним переміщенням зважених в розчині часток.

Через електрофорез, характерний для суспензій ґрунту, відбувається пересування негативно заряджених глинистих часток від катода до анода. За наявності твердої нерухомої фази ґрунту в електричному полі пересуватиметься рідина (електроосмотичне переміщення розчину). Через електроосмос рідка фаза ґрунтової маси пересувається від анода до катода.

При пропусканні постійного струму через вологий ґрунт глинисті частки під впливом різниці потенціалів поведуться як складні електричні системи, що складаються з позитивно і негативно заряджених часток. Пропускання постійного струму викликає електроліз і електрокінетичні явища. Явище електролізу є головною причиною закріплення ґрунтів при електрообробці постійним струмом. Під дією постійного струму позитивно заряджені іони металів і водню прямують до катода, а негативно заряджені – до анода і тут нейтралізуються або вступають у взаємодію між собою. Одночасно з перенесенням іонів відбувається процес заміщення в поглинаючому комплексі ґрунту K^+ і Na^+ на катіони H^+ , Ca^+ , Al^{3+} і Fe^{2+} . В результаті цього можуть зменшуватися товщина водної оболонки глинистих часток, міра їх гідратації, гідрофільність, набрякання і розмокання і пластичні властивості ґрунту. Новоутворення цементуючих речовин, що утворюються в результаті вторинних реакцій електролізу, можуть створювати додаткові зв'язки між частками ґрунту і надавати йому монолітність, міцність і атмосферостійкість.

Процесу закріплення ґрунту сприяє також електроосмотичне пересування рідкої фази і електролітів, яке викликає обезводнення і просочення електролітами ґрунту, ув'язненого між електродами. Зневоднюваний ґрунт ущільнюється і переходить з текучого стану в пластичне і тверде. Крім того, при зменшенні кількості води підвищується концентрація розчину, інтенсифікуються і прискорюються процеси кристалізації.

Таким чином, під впливом електричного струму відбуваються глибокі зміни в складі і властивостях ґрунту; особливо це наочно видно на прикладі карбонатних ґрунтів (юрська глина, лес та ін.). Електричний струм впливає на енергетичну здатність ґрунту і на електрохімічні процеси, що протікають в нім.

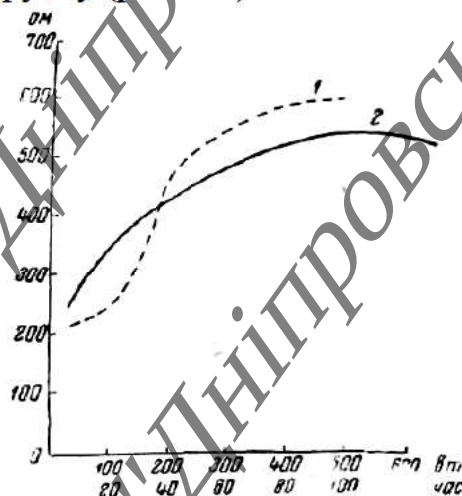
Під енергетичною здатністю ґрунту мається на увазі міра активності взаємодії окремих його фаз (твердою, рідкою і газоподібною) як в частині фізико-хімічних процесів, так і хімічних реакцій, які призводять до зміни природи ґрунту. Отже, з енергетичного боку при штучному накладенні електричного поля ґрунт отримує додаткову кількість енергії. Електричний струм є джерелом енергії і виконуваної нею роботи. При пропусканні струму змінюється не лише заряд часток, але має місце перехід електричної енергії в механічну, теплову і хімічну.

У частині дії на електрохімічні процеси електричний струм збуджує ряд нових процесів і реакцій, направляє, інтенсифікує і прискорює різні фізико-хімічні процеси, що протікають в ґрунті, і хімічні реакції, сприяє перенесенню іонів і міграції електролітів, інтенсифікує і прискорює обмінні реакції і тим самим змінює заряд часток і фізико-хімічну природу їх поверхні.

Електроліз, що виникає під впливом струму, супроводжується хімічними реакціями. В результаті первинних хімічних реакцій різко змінюється реакція середовища (сильно кисла у анода $pH = 1$ і сильно лужна у катода $pH = 14$), сольовий склад рідкої фази, склад газової фази з щедрим виділенням у катода водню, у анода кисню, а в результаті розкладання карбонатів і інших складових частин ґрунту – вуглекислого і інших газів. В результаті вторинних хімічних реакцій електролізу в ґрунті утворюються нові різні цементуючі речовини. Електричний струм активізує розкладання складених речовин твердої фази ґрунту (карбонатів, гіпсу та ін.), сприяючи цим переведенню їх в активний стан і включенню в електролітичні процеси.

Різкі зміни pH і сольового складу змінюють електропровідність ґрунту і в сильній мірі позначаються на процесах пептизації, коагуляції і цементації часток.

Зміна електричного опору ґрунтової маси протікає в певній закономірності – спочатку до певного періоду сильно зростає і потім майже не змінюється (за типом розчинів терпких речовин), і тому може стати одним з методів закінчення процесу закріплення ґрунту (рис. 2.4).



1 – залежно від часу $R=f(T)$ і 2 – від кількості електроенергії $R=f(W)$

Рисунок 2.4 – Зміна електричного опору юрської глини при пропусканні постійного струму

Виділення різних газів при розкладанні речовин активізує також окислювально-відновні процеси в ґрунтовій масі і інтенсифікує і прискорює інші процеси, зокрема, карбонізує. Завдяки виділенню великої кількості вуглекислого газу при розкладанні карбонатів в кислій анодній зоні відбувається посилена штучна карбонізація. Прискоренню процесів, реакцій і формуванню новоутворень мінералів в сильній мірі сприяє підвищення температури ґрунту при його електрообробці.

Підвищуючи температуру, збуджуючи, направляючи і прискорюючи фізико-хімічні процеси і хімічні реакції, накладення постійного електричного струму значною мірою сприяє також каталітичним реакціям, що протікають в ґрунтовій масі. Отже, струм, виявляючи дуже сильну дію на стан і властивості ґрунтів, одночасно із зміною заряду і переходом одних видів енергії в інші виконує також свого роду каталітичні функції в процесі закріплення ґрунту. Це знаходить підтвердження в тому, що деякі явища, що виникають в ґрунті при пропусканні постійного електричного струму, цілком можна віднести до області каталізу, маючи на увазі під цим всяку спрямовану дію на швидкість природних процесів.

Спрямоване електроосмотичне пересування рідкої фази, окрім осушення ґрунту і зміни електропровідності, може виявляти дуже сильну дію на тверду фазу ґрунту, з одного боку, руйнуючи складові частини шляхом розчинення і вилугування, а з іншого боку – вона може виявляти і зворотню дію, відкладаючи в порожнечах речовини (кремнезем, оксиди заліза, карбонат кальцію тощо), що містяться в ній, сприяючи тим самим зменшенню пористості і цементації часток ґрунту. Частки ґрунту, що відкладаються при цьому, заповнюють порожнечі і створюють як би каркас, жорсткіший і міцніший, чим початковий ґрунт.

Результатом усіх вказаних процесів і реакцій є не лише зміна фізико-хімічної природи поверхні часток, але і хіміко-мінералогічного складу з утворенням нових цементуючих речовин і формуванням нових мінеральних видів, які разом узяті і обумовлюють закріплення ґрунту.

Закріплення ґрунтів із застосуванням постійного струму, засноване на дуже складних і різноманітних процесах, відбувається за умов їх рівноваги, що змінюються, і залежить від різних чинників, які призводять до зміни систем і окремих фаз і появи нових, стійкіших з'єднань, що зв'язують частки. При закріпленні ґрунтів утворення систем і фаз багато в чому нагадує процес мінералоутворення.

Внаслідок вказаних процесів в ґрунті створюються різні новоутворення, які за своїми властивостями є як би перехідними між ґрунтами і будівельними матеріалами, а в деяких випадках ближчими до останніх. Закріплений ґрунт можна розглядати як свого роду складне новоутворення прискореного синтезу, штучно відтворюючого процес цементації часток.

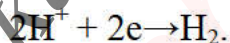
В зв'язку з цим застосування струму треба розглядати як новий ефективний метод: 1) дії на фізико-хімічні процеси і хімічні реакції і управління ними в ґрунті; 2) отримання цементуючих речовин і 3) прискорені синтезу, штучно відтворюючі процеси цементації часток і мінералоутворення, надзвичайно повільні що протікають в природі.

2.2 Фізико-хімічні процеси

Електропровідність рідкої і газоподібної фаз гірських порід залежить від кількості іонів і від швидкості їх руху.

Проходження постійного струму через консистентні суміші викликає в них електроліз і електрокінетичні явища. Електроліз є основним чинником закріплення гірських порід. При електрообробці позитивно заряджені іони металів і водню пересуваються до катода, а негативно заряджені – до анода, де нейтралізуються або взаємодіють між собою, створюючи новоутворення цементуючих речовин і надаючи їм монолітність і міцність.

Електроліз. З моменту проходження постійного електричного струму через тампонує суміш виникає електроліз, що супроводжується розкладанням складених речовин і перенесенням іонів, заряджених позитивною і негативною електрикою, які нейтралізуються на електродах. В процесі електролізу виділяються газоподібні і тверді речовини: на катоді водень і метали, на аноді – газоподібний хлор, кисень; розчиняються алюміній, мідь, срібло та ін. Електроліз води у присутності солей, кислот і лугів супроводжується її розкладанням і виділенням на катоді водню по рівнянню



Осадження металу на катоді відбувається при малих концентраціях водню.

Електрохімічні процеси в зоні анода залежать від властивостей металу. При алюмінієвому аноді з підвищенням щільності струму потенціал анода стає більш позитивним. Зміна потенціалу на аноді пов'язана з підвищенням концентрації іонів в прианодному шарі. У анода виникає явище поляризації. Розрядка аніонів відбувається в зворотному порядку, тобто коли більш позитивні аніони витісняють з розчину менш позитивні. Як показали досліди, розчинність алюмінієвого анода досягає великих величин – 50-75% від його маси. Поляризація чинить опір пересуванню розчину аж до зміни його напрямку.

Електроосмос. Проходження постійного струму через тампонує суміш супроводжується пересуванням рідкої фази від анода до катода, тобто електроосмосом. Електроосмотичне переміщення розчину ефективно впливає на процес закріплення суміші і гірських порід. При переміщенні тверда фаза електризується негативно, а розчин позитивно. Найкращий прояв електроосмосу спостерігається в глинистих і суглинних сумішах. Як правило, найбільша кількість рідини переміщається протягом перших 1,5-2 годин електрообробки.

Електрофорез. При проходженні постійного струму через тампонує суміш відбувається перенесення колоїдних часток в зону анода. Це механічно змінює склад елементів в різних зонах. Перенесення скорочується у міру зменшення рідкої фази в суміші і збільшення коагуляції. У початковий період проходження постійного струму через суміш і періодичної зміни полярності електродів електрофорез сприяє глибшому механічному перемішуванню суміші, взаємодії її часток з навколишніми породами і з глинистою кіркою на стінках свердловини, а також збільшує силу зчеплення між частками. Одночасно з цим відбувається міграція електродів в гірські породи, що сприяє їх закріпленню.

Реакції обміну. Ці реакції викликані поглинанням іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} рідкої фази зарядженими частками. Взаємодія розчинів солей з гірськими породами супроводжується реакціями обміну, внаслідок чого з них можуть бути частково або повністю витиснені власні катіони і заміщені бажаними катіонами Ca^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} . Наприклад, при тривалій дії постійним струмом і вступі в тампонууючу суміш солі кальцію можна повністю витіснити усі поглинені катіони, окрім Ca^{2+} .

Як відомо з теорії структуроутворення цементного каменю, останній формується за рахунок надлишку іонів Ca^{2+} і $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Отже, дію постійного струму на тампонууючу суміш і навколишні гірські породи створює можливість прискореного її перетворення на кам'яний стан.

Тампонууючі суміші і гірські породи можуть бути насичені різними катіонами, лугами і кислотами, що викликають побічні реакції, які сприяють розчиненню складених компонентів як тампонууючої суміші і вміщуючих порід, так і матеріалу електроду. При пропусканні постійного струму в анодній зоні створюється кисле середовище ($\text{pH} = 1$), а в катодній – лужна ($\text{pH} \approx 14$). Через це виникає різна зональність в закріплених породах і тампонууючій суміші. У анодній зоні спостерігається велика кількість Al^{3+} , а в катодній Ca^{2+} . Найбільш рівномірний розподіл зональностей закріплення і усунення поляризації анода досягається застосуванням знакозмінних імпульсів, тобто зміни полярності через певні проміжки часу.

Реакції обміну сприяють перетворенню тампонууючої маси і глинистих пластичних порід на монолітний стан. В процесі цього відбувається формування нових цементуючих речовин і мінералів.

Зміна хіміко-мінералогічного складу. Проходження постійного струму через закріплювану суміш або глинисті породи викликає зміни хіміко-мінералогічного складу і реакції середовища (pH). Величина pH росте у катода і зменшується у анода. Це пов'язано з електролізом і електроосмосом. В результаті в зоні катода протікають лужні реакції, а в зоні анода кислі. Відповідно в кожній зоні відбувається утворення різних цементуючих речовин, що відрізняються один від одного по хімічному і мінералогічному складу. Продукти розчинення електродів також беруть участь в утворенні цементуючих речовин.

Електрообробка змінює також сольовий склад суміші і гірських порід, що у свою чергу чинить сильний вплив на зональність закріплення.

У лужному середовищі катодної зони надлишкові іони Ca^{2+} утворюють гідрат окислу кальцію і його бікарбонат, які, при взаємодії між собою, утворюють осад у вигляді карбонату кальцію. При проходженні струму водорозчинні карбонати переходять з анодної зони в катодну, де відбувається їх закріплення. Солі магнію, заліза і алюмінію також переходять в кристалічний осад.

Поповнення іонів Ca^{2+} може відбуватися за рахунок їх перенесення з гірських порід або вступу добавки розчиненого хлористого кальцію. Хлор разом з водою віддаляється із закріплюваної суміші (в процесі перенесення іонів). Кристалізація осідаючих речовин формує твердий структурний скелет. Вторинні реакції утворюють складніші з'єднання, здатні перекристалізуватися.

Електрохімічне закріплення порід супроводжується новоутворенням різних мінералів, кристалізацією і перекристалізацією. На думку А.С. Коржуєва і

Н.І Тіткова [31], електричний струм стимулює правильну орієнтацію часток в електричному полі і створює напрям процесів кристалізації. У анодній зоні при використанні алюмінієвого електроду виникає шарувата структура маси, що кристалізується, з утворенням водного окислу глинозему з домішкою окислу заліза. У катодній же зоні відзначається найбільша кількість перекристалізованого карбонату. Електрообробка із зміною полярності вирівнює зональність новоутворень, що підтверджується рівномірним розподілом мінералів по усій масі. При цьому утворюються нові мінерали: кальцит, гіпс, магнезит, опалова речовина, гібсит, алофан, алюмініт, лімоніт, гідрогематит, гізінгеріт, нонтроніт, термонатріт, сода і т. д.

У початковий період проходження струму закріплювана маса готується до твердіння, тобто відбуваються поверхнева гідратація часток і розчинення в анодній зоні поверхневих шарів карбонатів. У насиченому розчині продукти реакції утворюють колоїдну систему у вигляді гелю, виникають найдрібніші центри кристалізації гідрату окислу кальцію. Проходження струму підвищує температуру закріплюваної маси і тим самим прискорює реакції.

Одночасно з коагуляцією колоїдів протікають процеси кристалізації, найбільш тонка частина колоїдних фракцій починає мимоволі перекристалізуватися. Зчеплення і переплетення кристалів гідрату окислу кальцію, що відбувається в процесі перекристалізації тонкодисперсних фракцій, викликає твердіння суміші. Процес кристалізації протікає як в період електрообробки, так і після неї, що і призводить до збільшення міцності.

Під впливом постійного струму прискорюються і посилюються процеси закріплення, з них до вирішальних відносяться: 1) виникнення нових фізико-хімічних процесів (електроліз, електроосмос); 2) перенесення іонів, пересування розчину і різке прискорення міграції електролітів; 3) обмінних реакцій; 4) зміна рН і сольового складу; 5) корозія електродів і розчинення складових частин твердої фази (карбонатів, гіпсу та ін.); 6) утворення гелів, коагуляція; 7) кристалізація і перекристалізація.

В результаті електрообробки новоутворення формуються в певні мінерали, частину з яких виконує роль цементів, а інша – наповнювачів. Кінцевим результатом складних перетворень в електричному полі є формування нових мінералів як продуктів штучного, прискореного їх синтезу і знову створеного складного міцного матеріалу.

Час закріплення обумовлено складом твердої, рідкої і газоподібної фаз і може регулюватися вступом відповідних добавок і режимом електрообробки. Наприклад, схоплювання і твердіння сумішей глини з цементом при електрообробці прискорюється в 5-10 разів в порівнянні з твердінням на повітрі. Введення електролітів-розчинів хлористих (кальцію або натрію) покращує електричний режим обробки, що у свою чергу також сприяє скороченню часу перетворення суміші в кам'яний стан.

Тривалість закріплення глин в природному стані може складати 100-200 год. Введення сольових добавок скорочує її до 30 год при меншому струмовому режимі. Практично міцність закріплених глин може досягати 15-18 кгс/см².

2.3 Формування мінералів і структур

При електрообробці постійним струмом глинистих порід і тампонуєчих сумішей відбувається новоутворення мінералів і структур. Детальні дослідження новоутворень опубліковані в роботі Н.І. Тіткова, В.П. Петрова і А.Я. Неретиною [71].

Гібсит (гидраргиліт) утворюється при використанні алюмінієвих електродів в різко лужному середовищі ($\text{pH} = 10-12$). Він створює цемент в закріпленій породі і білі щільні кірочки на її поверхні, величина яких залежить від часу дії струму. Гібсит кристалізується між зернами глинистих агрегатів, має своєрідну монолітну структуру.

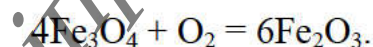
Алофан – найбільш поширений мінерал, що утворюється в глинистому середовищі під впливом постійного струму. Аналізами встановлена велика окристалізованість алофану. Гізінгерит також утворюється при пропусканні постійного струму. Випадання гізінгерита відбувається як в кислому, так і в нейтральному середовищі. У кислому середовищі випадають залізисті темні різниці, а в нейтральній – світліші, менш залізисті. Гізінгерит ізотропний і має натечно-колломорфну структуру.

Алофанойд – мінерал зеленуватого кольору, що складається в основному з водних телів глинозему, випадає в анодній зоні.

Алюмініт утворюється при насиченому розчині сульфідів кальцію або за наявності іонів SO_4^{2-} і випадає під впливом постійного струму. Алюмініт виділяється у вигляді білих голчастих кристалів, що утворюють зіркоподібні зростки. Опалова речовина утворюється при добавці рідкого скла в закріплювану суміш. Воно зустрічається в тісному проростанні з пелітоморфним кальцитом.

Магнетит розвивається в катодній зоні при добавці хлоридів. Накопичується він в лужному середовищі і особливо при використанні запізних електродів. Магнетит характеризується кристалічною формою і магнітністю.

Гематит зустрічається в катодній зоні. Утворення його при електрохімічному закріпленні пов'язана з процесом мартитизації, тобто перетворення магнетиту на гематит по формулі



Лимоніт скріплює породу, утворюючи в ній прожилки і заповнюючи порожнечі. Зустрічається він в анодній зоні. Випадання його відбувається при вступі добавок хлоридів.

Кальцит випадає в катодній зоні з солей кальцію. У анодній зоні він розчиняється. Кальцит має форму пелітоморфних зерен і утворює великі кристали.

Гіпс при електрохімічному закріпленні порід утворюється в середовищі, що містить ярозит і кальцій або іони Ca^{2+} і SO_4^{2-} . Випадання гіпсу відбувається в нейтральному середовищі у вигляді безбарвних призм або волокон. За даними Н.І. Тіткова [71], гіпс випадає з розчину на поверхні закріплюваної породи, а не за рахунок з'єднання іонів Ca^{2+} і SO_4^{2-} в процесі зустрічного руху від анода до катода і навпаки.

Процес виникнення цементів при електрохімічному закріпленні надзвичайно складний. Інтенсивне утворення цементів спостерігається в концентро-

ваних розчинах. Новоутворені цементи колюматують пори порід, а наступні хімічні реакції призводять до процесів кристалізації.

Базальний цемент – дрібнозерниста або аморфна маса в закріплених породах. Він має високі міцнісні властивості, складається з алофану, гібситу, кальциту і деяких інших мінералів. Цемент поровий заповнює пори закріплюваних порід і представлений в основному гідроокисним залізом і алофаном.

Цемент виконання характеризується виконанням порожнеч (пір) між агрегатами зерен, скріплених цементом іншого мінерального складу, що виник при електрохімічному закріпленні порід. Цемент виконання – алофановий, первинний, штучний, такий, що складається з гідроокисного заліза.

Ступковий цемент, або плямистий, відрізняється нерівномірним розподілом в закріпленій породі і складний залізом гідрату і кальцитом.

Цемент хаотичнозернистий – скупчення окремих ідіоморфних кристалів кальциту різного розміру. Він є дуже міцним.

Цемент проростання характеризується тим, що його кристали розташовуються на стінках пір і тріщин. Зростання кристалів спрямоване до центру пори. Матеріалом, що складає цемент, являється гібсит.

Цемент змішаний представлений різними за складом і будовою типами цементу, серед яких можна назвати такі модифікації: алофан-лімоніт, алофан-гізінгеріт, алофан-кальцит, лімоніт-гізінгеріт, гібсит-кальцит і т. д.

2.4 Закріплення глиноцементних паст при дії постійним струмом

Паста є дисперсними системами. Компоненти, що входять до складу паст, мають високий (зазвичай негативним) електрокінетичний потенціал і є активним середовищем для прояву електрохімічних процесів, зокрема, електроосмосу.

Залежно від кількості води в пасті змінюються терміни її схоплювання і тверднення. Чим більше води в пасті, тим більше терміни схоплювання. При твердненні паста частина надлишкової води відстоюється, але інша частина води, яка хоча і не зв'язується з компонентами паста жодним способом, залишається в розчині, сприяючи утворенню пористості, підвищенню проникності і зниженню міцності. Інша частина води, вступаючи в хімічні реакції, міцно входить в стійкі хімічні сполуки.

Під впливом постійного струму виникають електрокінетичні явища. При цьому частина води розкладається і стійко входить до складу деяких з'єднань або віддаляється з паста. Швидкість видалення води пропорційна градієнту потенціалу електричного поля. З іншого боку, за рахунок електрофорезу (початкова стадія закріплення) паста як би додатково перемішується, покращується глибина гідратації зерен цементу, підвищується їх активність. Збільшення кількості води в пасті веде до збільшення розтікання паста. Закономірність зміни міцності глиноцементного каменю залежно від розтікання паста представлена на рис. 2.5.

Великий вплив на міцність глиноцементного каменю чинить величина щільності струму на електроді.

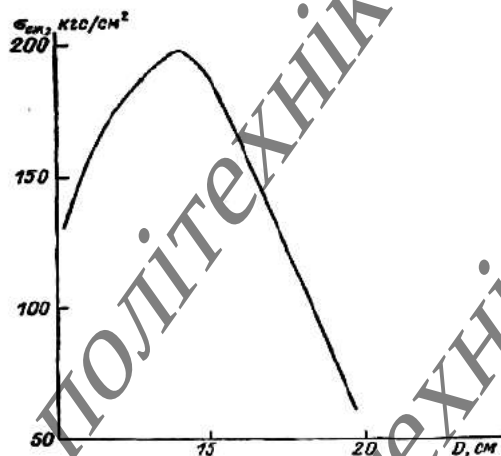


Рисунок 2.5 – Зміна міцності каменю залежно від розтікання пасти

В результаті дії постійного струму в системі глиноцементна паста – електрод мають місце електроліз, що супроводжується реакціями окислення і відновлення, електроосмос при інтенсивному переміщенні рідкої фази до катода, електрофорез, що супроводжується зміщенням твердих часток у напрямі анода. Процеси електролізу і електроосмосу протікають протягом усього періоду, закріплення пасти і сприяють підвищенню міцності каменю. Електрофорез грає найбільш активну позитивну роль в початковий період закріплення, коли паста рухлива. Але надалі, з моменту початку структуроутворення, відбувається розхитування ґрат і уповільнення кристалізації. Розхитування ґрат можна зменшити, понизивши напругу електричного струму.

Дослідженнями, виконаними в ПІРГД і ВІПР, були визначені оптимальні струмові режими закріплення глиноцементних паст. Встановлено, що найбільша міцність зразків досягається при обробці струмом щільністю 10-13 мА на 1 см² поверхні полюса електроду. Вплив середовища наступного зберігання зразків (у воді, повітряно-вологоді і повітрі) на міцність істотного значення не має (рис. 2.6).

При тампонуванні свердловин електрохімічним способом важливе значення має визначення часу закріплення пасти. При правильно підбраному складі глиноцементної пасти і режимі закріплення електрообробка триває протягом 2 год, тобто за цей час паста перетворюється на камінь міцністю 10-15 кгс/см². Проте при цьому необхідно враховувати ще цілий ряд чинників: 1) якість цементу; 2) тип глини; 3) мінералізацію води; 4) точність зважування компонентів пасти; 5) спосіб приготування пасти; 6) початкову температуру тощо.

Іноді через різні відхилення тривалість електрообробки (визначається досвідченим шляхом) може досягати 3 год. Паста, що схопилася, дуже швидко набирає міцність. Порівняння швидкості набору міцності електрооброблених паст із звичайними приведене на рис. 2.7.

Дослідженнями встановлено, що електрообробці пасти порівняно швидко набувають кам'яний стан. При цьому, чим більше в пасті глини, тим повільніше процеси схоплювання, швидкість наростання міцності і менше остаточна міцність каменю. Кращі властивості мають глиноцементні пасти, що складаються з 90% тампонажного цементу, 10% каолінової глини, 55-60% води (до розтікання 11-14 см) і 2% хлористого кальцію (від сумарної маси цементу і глини).

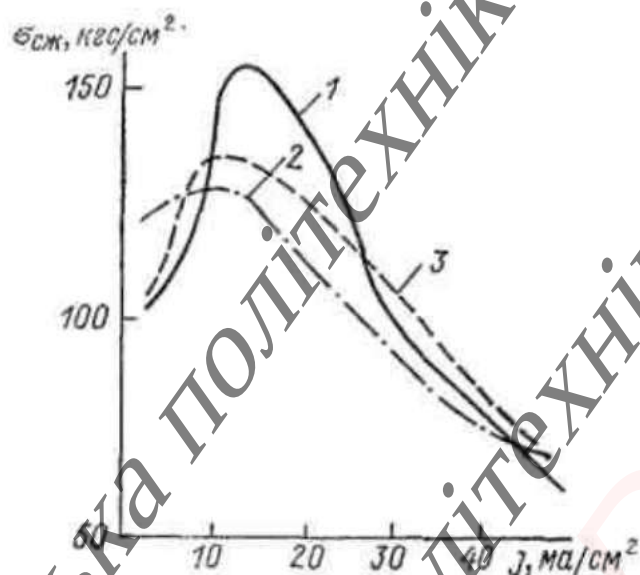


Рисунок 2.6 – Закономірність зміни міцності глиноцементного каменю від щільності струму при зберіганні зразків у воді (1), на повітрі (2) і у вологому середовищі (3)

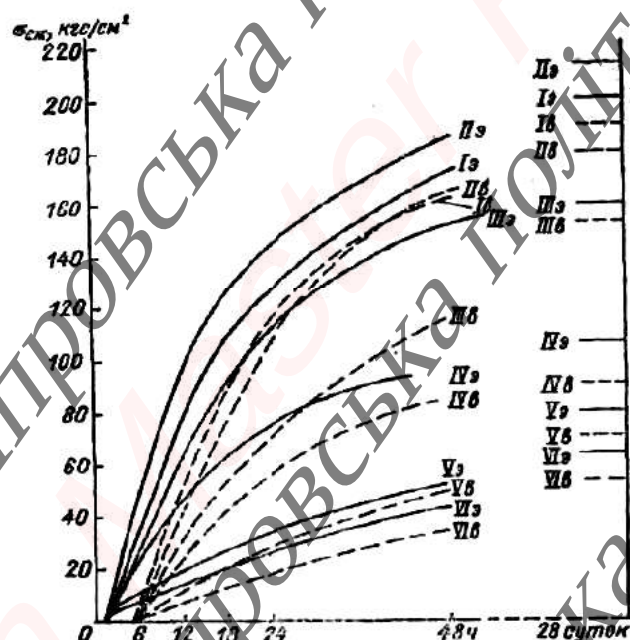


Рисунок 2.7 – Зіставлення швидкості набору міцності електрообробленими і пастами, що тверднуть на повітрі

Склад паст, %:

	Цемент	Глина
I	100	—
II	90	10
III	80	20
IV	70	30
V	60	40
VI	50	50

Електрообробка пасти із зміною полярності через кожні 15 хв до закріплення триває протягом 2 год при щільності струму 10-13 мА на 1 см² поверхні полюса.

2.5 Висновки за розділом

1. Проаналізований електрохімічний метод закріплення ґрунтів з електрообробкою постійним струмом знакозмінних імпульсів.

2. Закріплення ґрунтів електрохімічним методом зі знакозмінними імпульсами характеризується менш різко вираженою зональністю закріплення міжелектродного простору як в частині фізико-хімічних умов, хіміко-мінералогічного складу, так і фізичних фізико-механічних властивостей ґрунту.

3. В результаті введення електрообробки знакозмінними імпульсами застосовність електрохімічного методу значно розширюється.

3 КЛАСИФІКАЦІЯ ПОРІД ЗА СПОСОБАМИ ФІЗИКО-ХІМІЧНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ

В.І. Бондаренко була запропонована класифікація псевдопливунів за способами фізико-хімічного закріплення. Її метою є таке їх групування, яке дозволяє використовувати той або інший метод безповоротної зміни (поліпшення) їх властивостей на період ведення буріння свердловини. Причому рекомендований спосіб має бути найбільш раціональним з точки зору технології, економіки і охорони довкілля.

Дисперсні породи, мають істотні відмінності за деякими основними чинниками – гранулометричному, хімічному і петрографічному складі (рис. 3.1). Головним з них є гранулометричний склад і його похідна – сумарна площа поверхні часток дисперсних порід.

Чисті піски різної фракції (крупнозернисті, середньозернисті, дрібнозернисті) мають сумарну площу поверхні часток від 4 до 15 м² на 100 г породи. Вони представлені в основному кварцом і трохи – польовим шпатом. Їх коефіцієнт фільтрації – від 20 до 1-2 м/доб.

Пилоподібні, різнозернисті і вуглисті піски мають сумарну площу від 15 до 30 м² на 100 г породи. Ці породи представлені в основному мінералами кварцу, польовим шпатом, гідрослюдаю. Коефіцієнт фільтрації – 1-2-0,1 м/год.

Льосовидні породи (в основному льоси і льосовидні суглинки) мають сумарну площу часток від 30 до 40 м². Вони представлені кварцом, польовим шпатом, карбонатами кальцію і магнію, гідрослюдаю. Коефіцієнт фільтрації – 0,1-0,05 м/доб.

Глинисті породи з колоїдними і органічними фракціями (глини зелені, глини червоно-бурі, муши) мають сумарну площу більше 40 м² на 100 г породи. Вони представлені монтмориллонітом, каолінітом, кварцом, карбонатами кальцію. Коефіцієнти фільтрації – менше 0,05 м/доб.

Крупнозернисті і середньозернисті піски характеризуються досить високими коефіцієнтами фільтрації і пористості. Вони представлені в основному кварцом, тому доцільно застосовувати силікатизацію двофазною із зміною полярності.

Пропонований спосіб відрізняється тим, що електроди-ін'єктори вводять в пливун в шаховому порядку цюпарно, здійснюючи нагнітання розчинів із змінною полярністю. У першу частину циклу закріплення нагнітають розчин рідкого скла, а в другу – розчини хлоридів. Для названих порід можна успішно використовувати і термохімічне закріплення твердими вуглеводнями (парафінами і церезинами). Закріплювану породу розігрівають до 60-100° С шляхом пропускання (3-5 год) змінного струму промислової частоти і закачують в неї рідкий парафін або церезин. Останні віджимають воду і, охолоджуючись, тверднуть, забезпечуючи високу міцність ($\delta_{сж} = 5-15$ МПа) і повну гідроізоляції. Дрібнозернисті піски вимагають якісного просочення реагентами і прискореного гелеутворення. Це досягається при фізико-хімічному закріпленні і комбінованому електричному полі. На заряджену частку діє сила, що має постійну і змінну складову. Результуюча цих сил є векторна сума змінної і постійної складової.

Комбіноване поле забезпечує велику проникаючу здатність закріплюючим розчинам, оскільки елементарна частка випробовує менший гідравлічний опір. Електрохімічне закріплення дрібнозернистих пісків з магнітною обробкою реагентів прискорює процес гелеутворення за рахунок зародження центрів кристалізації і інтенсивного їх зростання в полі постійного електричного струму. Напруженість магнітного поля складає $(1,3-16,0) \cdot 10^4$ А/м.

Різнозернисті і вуглисті піски краще закріплюються електросилікатизацією, причому як реагент використовується тільки силікат натрію високої щільності ($\rho = 1,42-1,43$ г/см³). Закріплення досягається підвищенням температури масиву, в якому відбуваються процеси полімеризації, і силікат натрію коагулює і твердне. Вуглисті піски містять до 60 % органічних речовин, внаслідок чого досягається закріплення тільки постійним електричним струмом і вакуумуванням. У полі постійного електричного струму відбувається агрегація часток, ущільнення структури – консолідація породи в цілому.

Пилоподібні породи можна переводити в міцних і водонепроникних двома останніми способами, а також електрохімічним із зміною полярності і пряму подачі реагентів.

Цикл закріплення складається з шести періодів, проте загальний час закріплення цими способами в порівнянні з часом закріплення базовим електрохімічним способом скорочується на 15-20 %

Льоси і льосовидні суглинки втрачають структурні зв'язки і розріджуються при енергетичних витратах нижчих, ніж піски, тому для закріплення останніх вимагається більше часу.

Висновки за розділом

В розділі наведена класифікація пливунів за способами фізико-хімічного закріплення розроблена В.І. Бондаренком. Її метою є таке групування нестійких порід, яке дозволяє використовувати той або інший метод безповоротної зміни (поліпшення) їх властивостей на період ведення буріння свердловини. Причому рекомендований спосіб має бути найбільш раціональним з точки зору технології, економіки і охорони довкілля.

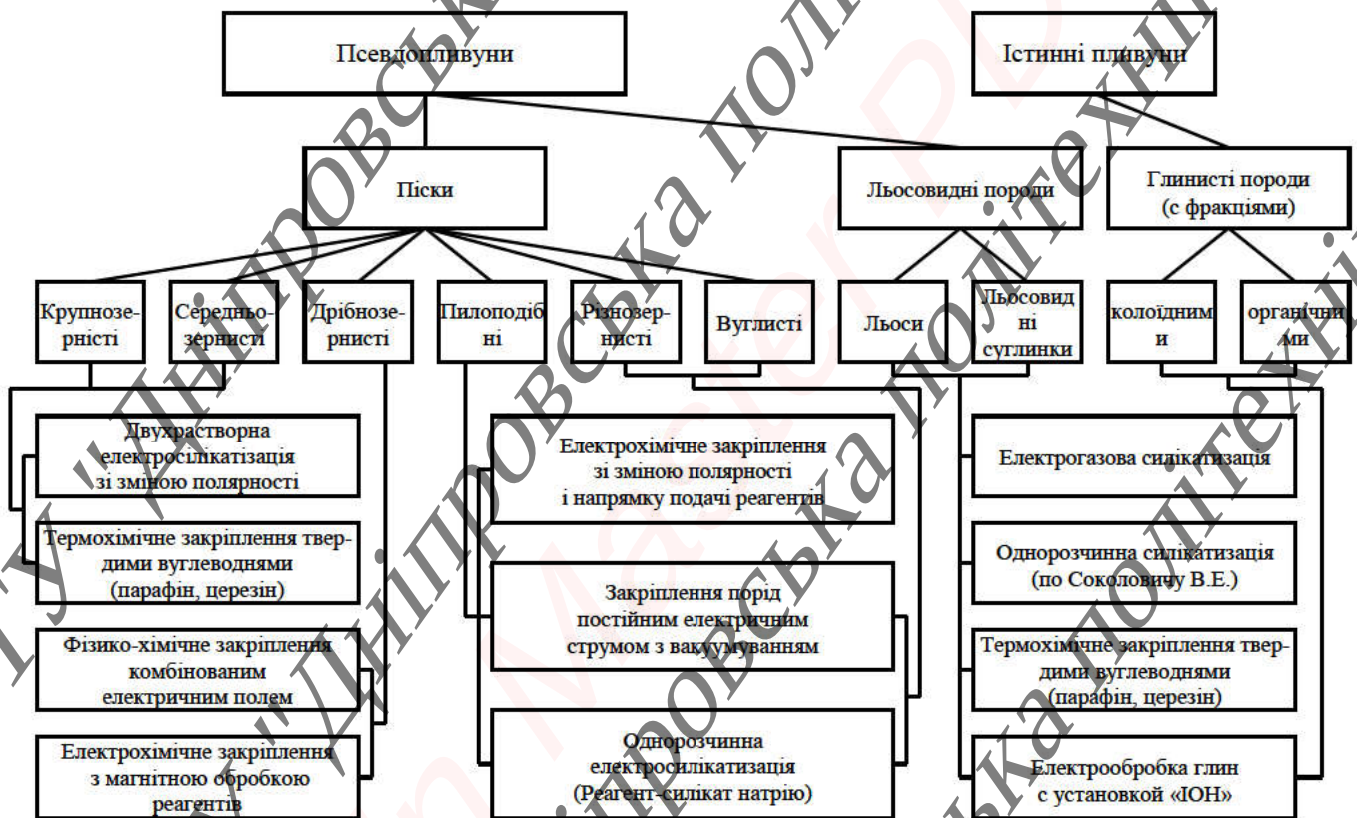


Рисунок 3.1 – Класифікація пшівунн за способами фізико-хімічного закріплення

4 ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ ПОРІД

4.1 Технологія проведення вертикальних і похилих гірських виробок по В.І. Бондаренко

Цей метод розроблений в Національному гірському університеті для проходки гірських виробок.

При проведенні вертикальних і похилих гірських виробок, що мають безпосередній вихід на денну поверхню, можна використовувати електрохімічного закріплення пливунів як з поверхні, так і із забою. Рішення цієї гірничотехнічної задачі є дуже відповідальним завданням, що вимагає високої надійності пропонувані способів електрохімічного закріплення пливунних порід.

Проведення вертикальних гірських виробок з використанням електрохімічного закріплення порід з поверхні полягає в тому, що до розтину дисперсних порід, що проявляють пливунні властивості, захисну пачку складають породи потужністю 0,5+1,0 м. На поверхні розмічають місця для буріння свердловин (рис. 4.1).

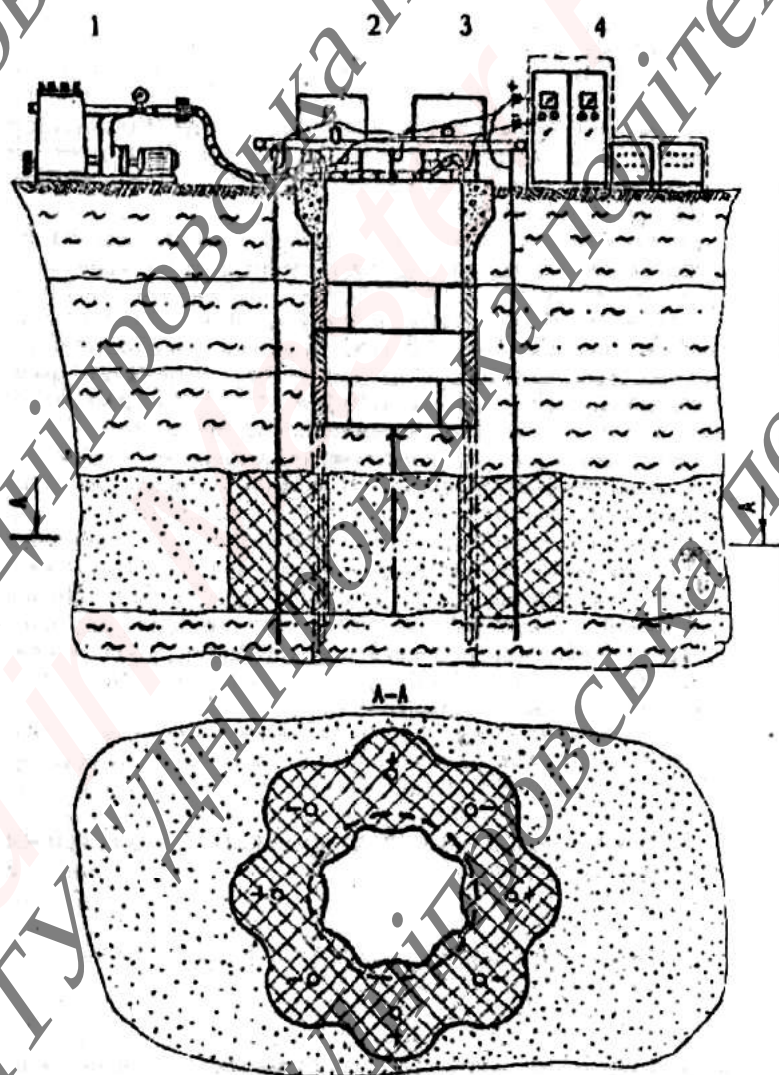


Рисунок 4.1 – Схема розміщення устаткування і електроін'єкторів при проведенні вертикальних виробок з використанням фізико-хімічного закріплення: 1 – насосна установка; 2 – ємність з силікатом натрію; 3 – ємність з хлористим кальцієм; 4 – джерело постійного струму

Діаметр свердловин складає 100-120 м. Свердловини забувають до порід на 0,2 м. Буріння здійснюють верстатами будь-якого типу, найбільш прийнятні з яких – обертальної дії. В пробурені свердловини вставляють труби, що виконують функцію електродів-ін'єкторів. Вони є відрізками труб завдовжки 2,5+3,5 м, що з'єднуються між собою муфтами. Відрізок електроду-ін'єктора, що перетинає водонасичену породу, перфорований отворами діаметром 3+5 мм. Перфорація йде по спіралі, відстань між отворами 40+50 мм.

Схема розташування електродів-ін'єкторів – по одній або двох концентричних колах. Відстань між електродами-ін'єкторами (0,8-1,2 м) залежить від коефіцієнта фільтрації породи і його складу. Якщо коефіцієнт фільтрації не перевищує 1 м/доб, відстань між електродами-ін'єкторами досягає 0,8 м, якщо $K_f > 10$ м/доб – до 1,2 м. При розташуванні електродів-ін'єкторів по одному концентричному колу аноди і катоди чергуються, така схема називається круговою (рис. 4.2). При розташуванні електродів-ін'єкторів по двох концентричних колах (кільцева схема) по одній з них будуть аноди (зовнішньої), а по іншій (внутрішньої) – катоди.

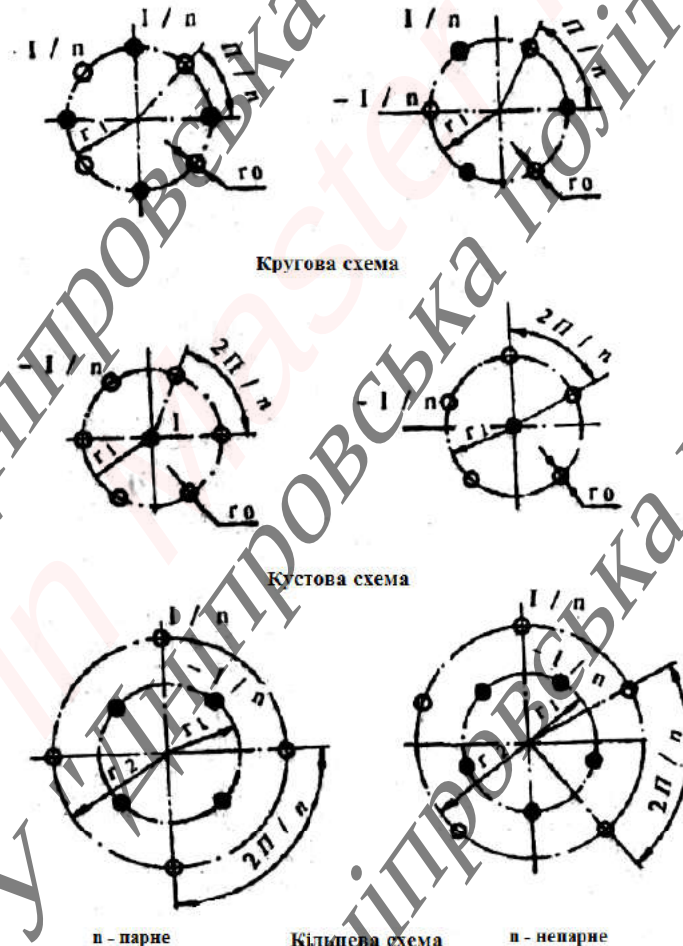


Рисунок 4.2 – Схема розташування електродів-ін'єкторів при проведенні вертикальних виробок

Кругова схема використовується, якщо потужність закріплюваної породи не перевищує 8-10 м і може бути закріплена при одному проході. Ця схема розташування електродів з полярністю, що чергується, забезпечує закріплення по колу. Кількість електродів-ін'єкторів і їх довжина знаходяться в обернено про-

порційній залежності з потужністю джерела постійного струму. Номограми для визначення потужності джерела постійного струму і кількості електродів-ін'єкторів при закріпленні порід з використанням різних схем розташування, з урахуванням перерізу вироблення і питомою опори пливунних порід, представлені на рис. 4.3-4.5. Якщо потужність закріплюваної породи не перекривається за одну заходку, тоді доцільніше застосовувати кушову схему розташування електродів-ін'єкторів, що передбачає закріплення пливунів по усьому перерізу вироблення (рис. 4.2, б). Якщо закріплення дисперсних порід здійснюється в підлогунапертому горизонті і вимагається створити захисну оболонку навколо ствола значної потужності 1,5+2,5 м, це досягається шляхом використання кільцевої схеми розташування електродів-ін'єкторів (рис. 4.2).



Рисунок 4.3 – Номограма для визначення потужності джерела постійного струму і кількості електродів-ін'єкторів при закріпленні порід (крутова схема розташування електродів-ін'єкторів навколо виробки): S – переріз виробки; n – кількість електродів-ін'єкторів

Якщо потужність пливунних порід при закріпленні вимагає двох і більше заходок, то після закріплення першої заходки здійснюють проходку по закріпленій породі із залишенням захисного шару із закріпленого матеріалу. Нарощують труби на електроди-ін'єктори і задавлюють їх гідродомкратами або забивають на величину наступної заходки.

На поверхні розміщують джерело змінного струму з випрямним пристроєм, причому регульований до напрузі від нуля до максимуму; комутаційно-вимірювальні блоки, що входять в установку «ЮН-3», розроблену і впроваджену співробітниками ДПІ [63]; вакуумний насос, призначений для відкачування електроосмотичної води, що виділяється. Місткості у кількості двох штук для закріплюючих реагентів мають бути не менше 2 м^3 кожна, крім того, на поверхні повинен знаходитися увесь запас реагентів, призначений для ведення спеціальних робіт по закріпленню.

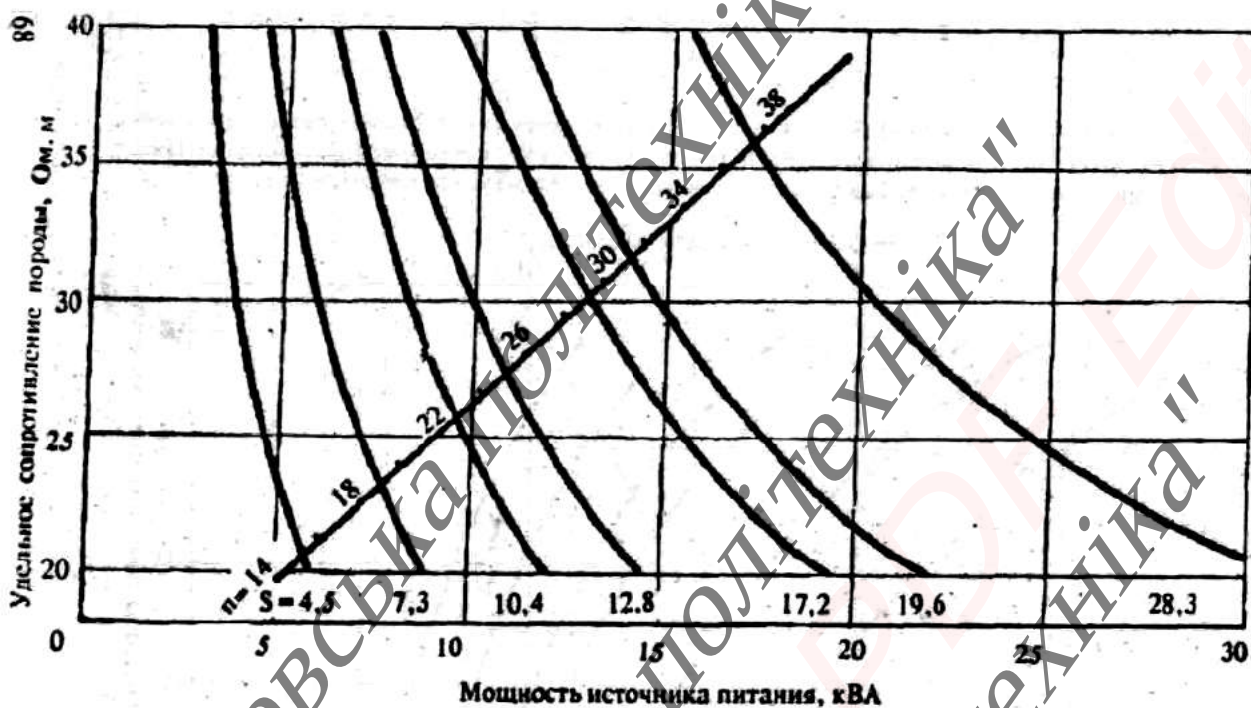


Рисунок 4.4 – Номограма для визначення потужності джерела постійного струму і кількості електродів-ін'єкторів при закріпленні порід (кущова схема розташування електроін'єкторів навколо виробки) : S – переріз виробки; n – кількість електродів-ін'єкторів

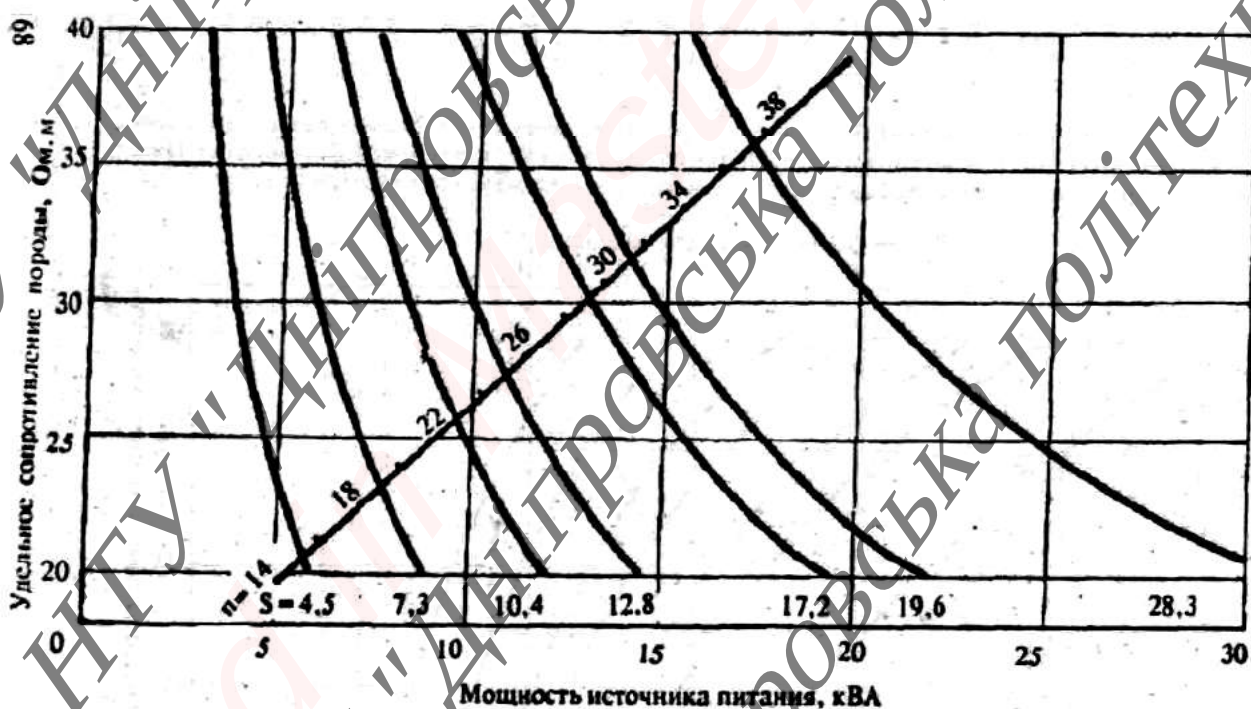


Рисунок 4.5 – Номограма для визначення потужності джерела постійного струму і кількості електродів-ін'єкторів при закріпленні порід (кільцева схема розташування електроін'єкторів навколо виробки) : S – переріз виробки; n – кількість електродів-ін'єкторів

Безпосередньо процес електрохімічного закріплення здійснюється в наступній послідовності. На електроди-ін'єктори подається напруга і одночасно через електроди-анооди подають перший закріплюючий реагент – силікат натрію або розчин на його основі, і протягом двох-трьох змін відбувається перший період закріплення, який забезпечує електроосмотичне віджимання води до катоду.

дів і насичення породи закріплюючим реагентом. Другий період починається з моменту припинення подачі першого і початку другого реагенту – розчинів хлоридів. Стадія, що завершує закріплення характерна тим, що електроліти не подаються, виконують тільки електрообробку, причому в знакозмінному режимі. Подача закріплюючих реагентів здійснюється за рахунок різниці рівнів 15-20 м, що створить достатній тиск.

Питома витрата на 1 м³ закріпленої породи складає: електролітів силікату натрію (чи його складових) – 200-210 л/м³, густиною 1,18-1,32 г/см³; розчином хлоридів (чи сульфатів) – 150-480 л/м³ густиною 1,12-1,18 г/см³; труб 1,8-2,6 м на 1 м³; електроенергії – 72-150 кВт-год/м. Загальний час закріплення однієї заходки 48-72 год.

Технологію проведення похилих гірських виробок розглянемо на прикладі використання електрогазової силікатизації.

Закріплення полягає в зануренні в породу електродів-ін'єкторів і подачі на них постійної напруги і вуглекислого газу під надлишковим тиском при підвищеній напрузі до розігрівання породи. Подача в породу вуглекислого газу при підвищеній електричній напрузі 300-400 В забезпечує активізацію лесових порід в основному за рахунок повного з'єднання карбонатів, що містяться в породі з вуглекислим газом, поданим в породу, що призводить до підвищення температури в 5-7 разів в порівнянні з первинною.

Активізована вуглекислим газом порода в постійному електричному полі має температуру 100-110° С. Після цього в породу подають силікат натрію високої щільності, причому при подачі його виробляють періодичну зміну полярності на електродах-ін'єкторах з «плюса» на «мінус» і навпаки до закачування в ґрунт розрахункової кількості закріплюючого розчину. На цьому циклі закріплення завершують.

Висока температура електродів-ін'єкторів і ґрунту знижує в'язкість силікату натрію. При температурі 18-20 °С силікат натрію щільністю 1,41-1,42 має динамічну в'язкість 100-120 (Н·с/м²)·10⁻³, при температурі 50-60°С в'язкість складає 20-25 (Н·с/м²)·10⁻³ а при 100-110°С – лише 7-8 (Н·с/м²)·10⁻³. Це, у свою чергу, дозволяє збільшити радіус поширення закріплюючого розчину навколо електродів-ін'єкторів в 2,0-2,5 раз. Висока щільність силікату натрію забезпечує поліпшення якості: міцність, водостійкість і довговічність закріплених порід.

На рис 4.6 представлена технологічна схема проведення похилих виробок з використанням електрогазової силікатизації шпівунів. Особливістю проведення похилих виробок спеціальними способами є перетин порід під певним кутом. Це накладає істотний відбиток на схеми розташування електродів-ін'єкторів. Вони розташовуються в масиві під різними кутами (рис. 4.7). Основною вимогою є витримка відстаней між електродами-ін'єкторами, яка не повинна перевищувати 1,2 м.

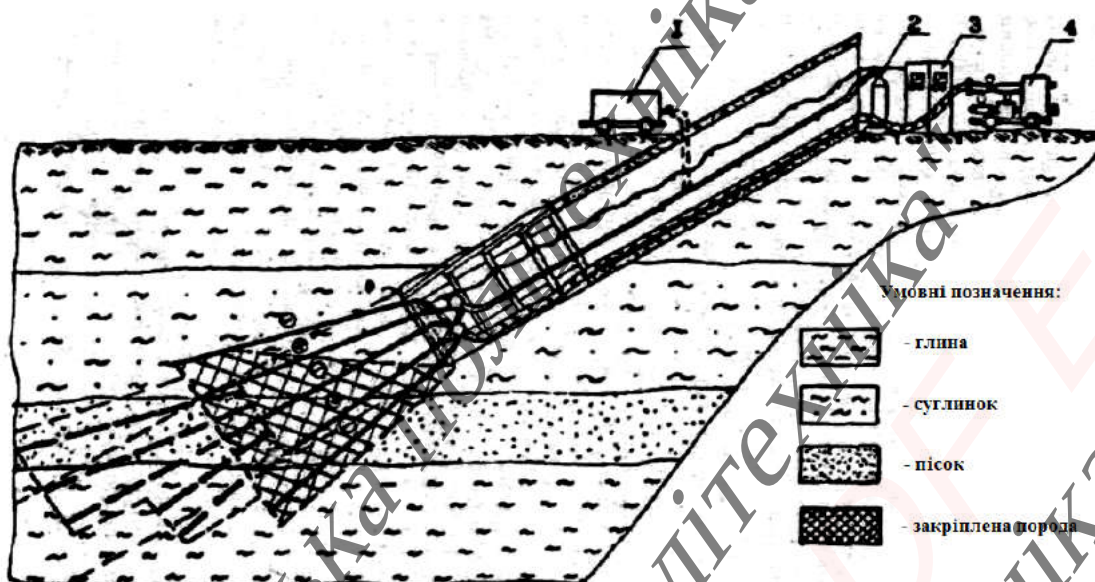


Рисунок 4.6 – Технологічна схема електрогазової силікатизації порід при проведенні похилих виробок: 1 – ємність з силікатом натрію; 2 – балон з CO_2 ; 3 – індукційний регулятор напруги IP-59 з випрямним блоком; 4 – вакуумна установка

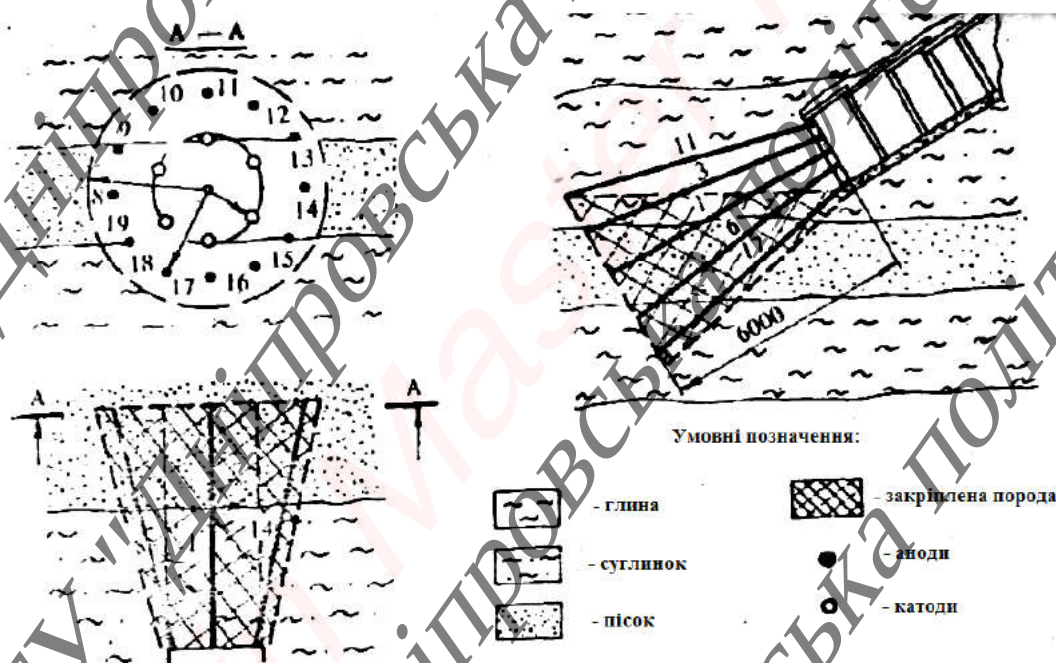


Рисунок 4.7 – Схема розміщення електроін'єкторів в похилій виробці

До електродів-ін'єкторів під'єднуються шланги (від ємності з силікатом натрію через насос і від балона з вуглекислим газом через редуктор), а також кабелі від джерела постійного струму. На електроди-ін'єктори подають постійну напругу (напруженість поля постійного струму 3 В/см) і протягом 6 год закачують вуглекислий газ під тиском $0,2 \text{ МПа}$. Витрату CO_2 на 1 м^3 складає 5-6 кг.

Потім подають силікат натрію, щільністю $1,42 \text{ г/см}^3$, протягом 18 год, при цьому періодично виробляється зміна полярності; витрата силікату натрію на 1 м^2 закріпленої породи складає 140-160 літрів. У породі відбуваються хімічні реакції з утворенням штучних цементів:



Загальний час закріплення з урахуванням технологічних перерв складає 22-30 год.

4.2 Технологічні схеми зміцнення стінок свердловин по Н.І. Тіткову і А.С. Коржуєву

Електрохімічний метод призначений для зміцнення стінок свердловин шляхом закріплення введених тампуючих сумішей і надання водостійкості і необхідної механічної міцності розкритим бурінням нестійким гірським породам.

Для надання стінкам свердловин необхідної стійкості кожна одиниця зміцнюваної поверхні повинна оброблятися постійним струмом знакозмінних імпульсів силою 3-10 А, при різниці потенціалів між полюсами електродів в 25-30 В спочатку (близько 5 год) з наступним підвищенням до 100 В і більш і щільність струму близько 10-50 мА/см² (зразкова витрата енергії при цьому складає близько 10-50 кВт-год на 1 пог. м зміцненої свердловини при діаметрі 11^{3/4}”).

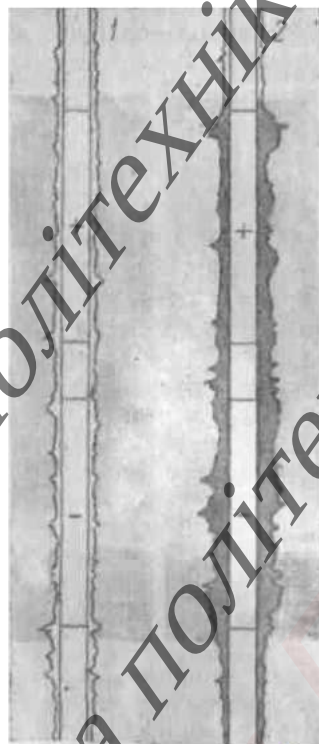
Програма випробувань включає досвідчену перевірку двох технологічних схем електрохімічного зміцнення стінок свердловин, які наводяться нижче.

4.2.1 Дослідні випробування

Літом 1957 р. в Татарській АРСР на дрібних дослідних свердловинах, були проведені експериментальні дослідження електрохімічного способу тампонування.

Схема електрохімічної обробки стінок свердловин із застосуванням розчину електроліту і тампуючої суміші показана на рис. 4.8.

Дослідне випробування мало мету визначити придатність розроблених конструкцій електродів для роботи у свердловинах – їх механічну і електричну міцність, надійність в роботі, швидкість електролітичної корозії контактних пластин, полюсних патрубків і інших елементів конструкції, щоб внести до них необхідні зміни при підготовці до промислових випробувань. Крім того, необхідно було перевірити розроблені рецепти бурових розчинів-електролітів для закріплення глинистих порід за допомогою електроду змінного діаметру, а також склади тампонажних сумішей, що обробляються постійним струмом із застосуванням трубчастих електродів.



1 – з розчином електроліту; 2 – з тампонуною сумішшю; (+) і (-) – електроди
Рисунок 4.8 – Схема електрохімічної обробки стінок свердловин

Електрод змінного діаметру було намічено випробувати в дрібних свердловинах при нерухомому положенні, щоб, отримавши попередні дані про його працездатність, перейти до складнішого випробування, тобто при роботі в русі (зворотно-поступальному) в більш глибокій свердловині 16, яку намічалось довести до глибини 100 м.

Після закінчення буріння у свердловину залежно від її призначення заливали через гирло тампонажну суміш того або іншого складу або підливали (до гирла) спеціальний розчин електроліту. Потім у свердловину опускали відповідний електрод і змінювали нерухомо так, щоб його верхній кінець знаходився на 100-200 мм нижче за поверхню землі, після чого на електрод подавали постійний струм.

Час зміни полюсів на електроді для свердловин, в яких випробовувалися тампонажні суміші, було встановлено 15 хв. У свердловинах, де випробовувалися спеціальні розчини електролітів, полюси змінювалися через годину.

Таким чином, електрообробка стінок свердловин проводилася при нерухомих електродах знакозмінними імпульсами.

Тривалість (роботи електродів в окремих свердловинах була різною. У тих свердловинах, де вироблялася електрообробка тампонажних сумішей, що містять терпкі матеріали, процес тривав всього 2-6 годин. У інших свердловинах, де здійснювалось безпосереднє закріплення глин, що складають стінки свердловин, робота електродів була значно триваліше і доходила до 45 годин, залежно від складу розчину.

При кожній зупинці двигуна агрегату електроди витягали зі свердловини і оглядали. У свердловини, що поглинають рідину, періодично підливали розчин.

Систематичне спостереження за станом електродів в процесі досліджених робіт і ретельне їх обстеження після закінчення обробки вказаних свердловин виявили наступне.

1. Трубчастий електрод після 20 години роботи у свердловинах була у відмінному стані, без видимих ознак корозії на кінцях обгумованого патрубка, що несе, і різьбах. Полюсні патрубки також не мали помітних слідів зносу ні на зовнішній, ні на внутрішній поверхні, ні в місцях приєднання дротів.

Випробування трубчастих електродів були продовжені, і перший екземпляр електроду пропрацював 133 години. У кінці випробування корпус цього електроду зберігся повністю і міг бути використаний для подальших експериментів. Полюсні патрубки залишилися у хорошому стані і також могли бути використані знову.

Таким чином, ізоляцію корпусу трубчастого електроду можна вважати цілком задовільною.

Полюсні патрубки можуть працювати у свердловині при режимах: сила струму 20 а, напруга 20-50 в значно більш 100 годин.

Враховуючи, що електрод, знаходячись у свердловині, контактує із закріпленою тампонажною сумішшю по усій своїй поверхні, необхідно точно дотримувати інтервали зміни полюсів, оскільки інакше він може бути прихоплений. Після закінчення електрообробки або аварійного відключення електрод необхідно негайно витягнути зі свердловини або підвести до виходу із закріпленого інтервалу. Конструкція електроду загалом задовільна і не вимагає принципових змін. Електрод такої конструкції намічається застосувати для досліджено-промислового випробування методу при бурінні глибоких свердловин.

2. Електрод змінного діаметру пластинчатий у свердловині 9-15 пропрацював 97 годин при середньому режимі: напруга 26 В, сила струму 20 А.

Аналізуючи результати випробувань електроду цього типу, необхідно мати на увазі, що окрім гумових втулок, надітих на пальці шарнірних з'єднань, корпус електроду має бути покритий електроізоляційним лаком, який зберігав би свої ізоляційні властивості в агресивному середовищі, якими є випробовувані розчини-електроліти. Електрод випробовувався з голим сталевим корпусом, що привело до інтенсивного зносу основних вузлів шарнірних з'єднань (пальці, щічки), клеммових болтів і корпусу. З цієї ж причини до певної міри знизилася ефективність електрообробки з цим електродом, оскільки значна частина енергії витрачалася не на корисну роботу, а на електролітичну корозію основних деталей електроду. Проте періодичним оглядом усіх вузлів електроду після випробування і детальним обстеженням його стану після закінчення роботи встановлено, що контактні пластини зношені відносно мало і в такому стані могли б працювати ще приблизно 100 година при тих же режимах.

Найсильніше піддалися корозії цапфи на контактних пластинах і на корпусі електроду. Це настільки сильно ослабило конструкцію електроду, що подальше випробування його у свердловині 16 було пов'язано з ризиком викликати аварію внаслідок обриву контактних пластин. Сам корпус електроду і нарізані на нім різьблення після роботи були в задовільному стані. Можна припус-

кати, що якби корпус електроду був захищений ізоляційним покриттям, знос контактних пластин був би значно меншим, а ефективність електрообробки вища.

Не дивлячись на те, що електрод випробовувався при роботі в нерухомому стані, встановлено, що, окрім недостатньої ізоляції, що привела до прискореного руйнування вузлів підвіски контактних пластин, уся конструкція в цілому не має достатньої механічної міцності. Тому немає впевненості в тому, що при спуску електроду у свердловину або при підйомі його не станеться обриву пластин у разі заклинювання їх на виступах стінок свердловини. У зв'язку з тим, що в процесі роботи електроду найбільш схильними до електролітичної корозії виявилися саме деталі підвіски пластин, можна припускати, що при щонайменшому порушенні поверхні ізоляційного покриття почнеться посилена корозія металу, яка може привести до поломки електроду у свердловині і викликати аварію. Тому конструкція електроду має бути значно посилена і по можливості спрощена. Для переміщення контактних пластин може бути використаний пружинний пристрій. Пружини в даному випадку збереглися добре. За станом контактних пластин до кінця випробування встановлено, що товщина їх, рівна 15 мм, цілком достатня для безперервної роботи електроду протягом 2-3 діб і більш, тому може залишитися незмінною і в новій конструкції. Необхідно відмітити, що в результаті електролітичного розчинення металу контактних пластин на поверхні алюмінію з'являється плівка, і електроди поляризуються. Поляризація електродів значною мірою усувається періодичною зміною полюсів, тобто електрообробкою зі знакозмінними імпульсами.

Після закінчення робіт у свердловинах була обстежена верхня частина свердловин, що піддавалися електрообробці, і контрольних свердловин, пробурених на майданчику. Для цього уздовж ряду свердловин була викопана екскаватором траншея завглибшки 2-2,5 м. Після цього розрізали усі свердловини і відібрані зразки такою, що піддалася закріпленню глини і тампонажних сумішей. Потім було зроблено опис поверхні стінок свердловин і їх перерізу.

В результаті дослідження розрізів свердловин після їх електрообробки було встановлено наступне.

За розчинами.

У св. 9, де випробовувався буровий розчин № 1, стінки рівні (на відміну від контрольної св. 4, де спостерігалася випадання структурних окремих глин). Виявлено проникнення новоутворень, лимоніту на глибину 100-110 мм.

У св. 14 застосування спеціального розчину № 1 з добавкою тампонажного цементу (навіть у незначній кількості – 1%) привело до утворення на поверхні породи тонкої, але дуже твердої кірки цементу, глини, що різко підвищує стійкість, при бурінні.

У св. 15 застосування розчину № 1 з добавкою 1% глинисто-бітумної пасти привело до утворення на поверхні породи тонкої міцної еластичної бітумної плівки.

4.2.2 Перша технологічна схема зміцнення стінок свердловин із введенням спеціальних тампонуєчих сумішей

Призначенням методу електрохімічного зміцнення стінок свердловин із введенням спеціальних тампонуєчих сумішей є надійне закріплення нестійких пластів невеликої потужності, що зустрічаються при бурінні, ускладнюють подальше буріння свердловини.

Це означає, що цей метод повинен замінити собою вибійні заливки цементу, а в деяких випадках – спуск технічної або експлуатаційної колони.

В результаті експериментів визначилася наступна технологічна схема, яку належить випробувати у свердловинах в районах Татарстану і Башкирії.

Ця схема така.

1. Закріплення інтервалу ствола свердловини, складеного нестійкими породами, виробляється після закінчення його розбурювання.

2. Секції електродів мають довжину, дещо велику (на 5-10 м) потужності зміцнюваного інтервалу, і спускаються у свердловину на бурильних трубах.

3. Тампонуєча суміш закачується у свердловину через бурильні труби, аналогічно цементному розчину.

4. Процес закріплення здійснюється при нерухомому положенні електродів. За час електрообробки тільки один раз електроди переміщуються вгору або вниз на половину довжини одного електроду. Таким чином, процес закріплення проводиться протягом 4-6 год в першому положенні електродів і стільки ж в другому, що необхідно для вирівнювання зональності, що виникає внаслідок нерівномірної щільності струму по довжині електроду.

5. Зміцнення ведеться при періодичній зміні полюсів для ліквідації зональності, що виникає внаслідок нерівнозначності полюсів.

6. Буріння триває після закінчення процесу закріплення і витягання зі свердловини секцій електродів.

Устаткування

Для здійснення електрохімічного зміцнення стінок свердловин з введенням тампонуєчих сумішей на буровому майданчику необхідно мати секції трубчастих електродів загальною довжиною, рівній потужності закріплюваного інтервалу плюс дві резервні секції, кожна завдовжки 5 м. Конструкція секції електродів аналогічна описаній вище конструкції трубчастого електроду.

Зовнішній діаметр секцій електродів визначається з розрахунку діаметру свердловини з урахуванням коефіцієнта просвіту, що забезпечує вільне проходження секцій до забою.

На відміну від окремого електроду, секція має ту, що довгу несе трубу, на яку вільно надіваються декілька пар контактних сталевих патрубків.

З'єднання окремих секцій між собою здійснюється спеціальними переводниками або замками.

Струмovidвід здійснює підведення живлення від джерела енергії до полюсних патрубків електродів.

За прийнятою схемою у свердловині повинні одночасно працювати декілька електродів (10-50 сполучених між собою паралельно), а кожен окремий

електрод повинен працювати при режимі $I = 3-10 \text{ A}$; $V=20-30 \text{ В}$ спочатку, з наступним підвищенням до 100 В і більш. У такому разі загальний струм, споживаний усіма електродами, що знаходяться у свердловині, значно зростає.

Якщо врахувати, що довжина струмопідводу, наприклад, при закріпленні киновських глин, що залягають в районах Татарстану і Башкирії на глибині близько 2000 м , стане ясно, що розробка системи каналізації струму на великі глибини є самостійним завданням. До рішення цієї задачі можна підійти двома шляхами:

а) подавати з поверхні струм високої напруги, допускаючи, що основна величина напруги втрачатиметься в кабелі і до електродів підійде необхідна напруга від 20 до 100 В ;

б) подавати з поверхні змінний струм високої напруги і потім трансформувати і випрямляти його у свердловині безпосередньо над електродами.

Оскільки перший шлях зв'язаний з великими втратами, то більш прийнятним є другий шлях, що дає можливість здійснити каналізацію струму у свердловину кабелем відносно невеликого перерізу.

Контрольно-вимірювальні прилади

Для підтримки заданого режиму електрообробки і управління процесом необхідно мати електроштит з контрольними приладами – амперметром і вольтметром. Туди ж має бути винесене управління роз'єднувачами.

Розчини

Буріння ведеться звичайними промивальними розчинами. Ніяких спеціальних вимог до промивальної рідини електрохімічний метод зміцнення стінок свердловин з введенням тампонуєчих сумішей не висувається. Оскільки для зміцнення інтервалів незначної потужності вимагаються дуже невеликі кількості тампонуєчих сумішей, приготування їх здійснюється в глиномішалці на буровому майданчику. Застосування бітумних паст, для приготування яких потрібне нагрівання, вимагає встановлення мшалки так, щоб її можна було підігрівати відкритим полум'ям без побоювання викликати пожежу.

Порядок проведення робіт

Порядок праці за прийнятою технологічною схемою наступний:

- 1) нормальне буріння до повного розтину потрібного до закріплення інтервалу з поглибленням на декілька метрів в пласт, що залягає нижче;
- 2) промивання свердловини;
- 3) спуск на бурильних трубах заздалегідь підготовлених секцій електродів з направляючим патрубком;
- 4) промивання свердловини;
- 5) закачування у свердловину певної кількості тампонуєчої суміші;
- 6) продавка суміші, що захиталася, в затрубний простір і підйом її до потрібної висоти;
- 7) електрообробка суміші;
- 8) витягання зі свердловини бурильних труб і секцій електродів;
- 9) спуск у свердловину бурового інструменту;
- 10) промивання свердловини;
- 11) продовження буріння.

4.2.3 Друга технологічна схема зміцнення гірських порід на стінках свердловини

1. Зміцнення мілкозалигаючих гірських порід (третинних і четвертинних) проводиться, як це передбачається для спуску кондуктора. Процес електрохімічного зміцнення проводиться одночасно з бурінням і, якщо він не може бути проведений до закінчення буріння, додатково триває за рахунок часу, що витрачається зазвичай на спуск колони, цементування кондуктора і очікування твердіння цементу.

2. Зміцнення глибокозалигаючих гірських порід повинне вироблятися після закінчення буріння в час, що зазвичай витрачається на спуск колони, її цементування і очікування твердіння цементу.

Свердловини

Випробування здійснювати на спеціально виділених свердловинах, що буряться турбінним способом. Буріння слід виробляти тими ж діаметрами долота, якими на цьому родовищі буряться експлуатаційні свердловини.

Експлуатаційну колону у свердловину спускати не слід. Конструкцію свердловини прийняти спрощену, з постановкою летючок і мостів для ізоляції зон водопровів і відходів, із закріпленням інтервалів, складених нестійкими глинистими породами, електрохімічним методом.

Після закінчення процесу зміцнення свердловина залишається для ретельних спостережень за поведінкою зміцнених гірських порід.

Устаткування

Для проведення досліджень на свердловині, окрім звичайного комплексу бурового устаткування, необхідно мати усе вказане устаткування в першій схемі в частині струмовідводу, а також комплект спеціальних електродів (3 робітників і 3 запасних), призначених для спуску у свердловину на бурових трубах і що виготовляються по кресленнях Інституту нафти АН СРСР.

Короткий патрубок із запобіжним центруючим кільцем має закруглений низ для оберігання електродів від механічних ушкоджень при спуску у свердловину. При зборці інструменту перед спуском у свердловину для зміцнення нестійких гірських порід спочатку проходить патрубок з кільцем, за ним йде перший електрод, а потім, через певні інтервали, інші електроди. Патрубок із захисним кільцем виготовляється по кресленнях Інституту нафти АН СРСР.

Розчини

1. Буріння ведеться із спеціальним промивальним розчином, що складається з води пласта хлоркальцієвого типу, розбавленою технічною водою до змісту CaCl_2 близько 20 г/л (для туймазійної води, гор. «Д», до співвідношення 1:10).

2. Перед початком буріння на буровий майданчик завозиться вода пласта в кількості, необхідній для приготування розчину в об'ємі, рівному двом об'ємам свердловини.

3. В процесі буріння необхідно стежити за концентрацією розчину з метою забезпечення її постійності у разі розбавлення розчину у свердловині.

4. Очищення промивального розчину від шламу не вимагає спеціальних заходів і здійснюється звичайним порядком.

5. Розтин бурінням тих, що підлягають зміцненню порід виробляється за наявності у свердловині спеціального розчину для надання стійкості зміцнюванним гірським породам на якийсь час, необхідне для проведення свердловини до проектної глибини і початку електрообробки.

6. На буровому майданчику необхідно мати цемент і рідке скло в кількості, необхідній для приготування спеціального розчину, з добавкою цементу або глинисто-цементної суміші.

Необхідна кількість такого розчину визначається необхідністю мати цей розчин в оброблюваному інтервалі.

Рецептура його така: вода пласта хлоркальцієвого типу, розбавлена технічною водою до співвідношення 1:10, з додаванням до неї 0,1 % рідкого скла і 1% цементу. Приготування розчину здійснюється за допомогою глиномішалки з наступним пропусканням через диспергатор.

Для заповнення свердловини діаметром 11^{3/4}" на висоту 30 м (при потужності зміцнюваного інтервалу приблизно 15-20 м) необхідно приготувати близько 10 м³ цього розчину.

Порядок проведення робіт

1. Буріння свердловини до проектної глибини вести за технологією, передбаченою при проводці свердловини спрощеної конструкції.

2. Під час буріння свердловини підготувати до спуску бурильні труби з струмопідводом, електроди і усю решту спеціального електроустаткування для проведення роботи по зміцненню нестійких гірських порід.

3. Перед розтином гірських порід, що підлягають зміцненню, замінити розчин в циркуляційній системі на спеціальний (розбавлена вода пласта без добавок).

4. Після закінчення буріння, не піднімаючи зі свердловини інструменту, закачати і продавити до зміцнюваного інтервалу спеціальний розчин з добавкою рідкого скла і цементу, посту чого витягнути інструмент зі свердловини.

5. Спустити у свердловину спеціальні труби з струмопідводом з набраними на них через певні проміжки, вказані в геолого-технічному наряді, електродами, маючи на кінці коротку трубу із запобіжним центруючим кільцем.

6. За допомогою бурової лебідки, без відновлення циркуляції, провести процес зміцнення виділеного об'єкту попереми́ним опусканням і підняттям електродів із швидкістю порядку 10 м/год в інтервалі, вказаному в геолого-технічному наряді.

7. При проведенні процесу зміцнення уважно стежити за електричним режимом і показами індикатора ваги. При порушенні електричного режиму або заїданні інструменту негайно його підняти і ретельно оглянути електроди.

8. Спустити у свердловину запасні електроди і відновити процес, після чого ретельно оглянути підняті електроди, виконати їх ремонт і, у разі потреби, зміну черевиків, повністю підготувавши їх до повторного спуску. Зробити опис стану піднятих зі свердловини електродів.

9. У приведеній послідовності вести процес протягом вказаного в геолого-технічному наряді часу.

Спостереження на свердловині

Після закінчення вищезгаданих робіт на свердловині необхідно контролювати і стежити за отриманими результатами зміцнення стінок. Для цього слід виробляти: 1) періодичні виміри глибини; 2) кавернометрію; 3) відбір проб бічним ґрунтоносом і їх випробування з визначенням набрякання, міцності на стискування, розмокання, пластичності, гранулометричного і хіміко-мінералогічного складу.

4.3 Технологічні варіанти тампонування свердловин по МК. Раскопіню

Електрохімічний спосіб тампонування дозволяє ліквідувати ускладнення у свердловинах на різних глибинах. Залежно від характеру ускладнення, конструкції свердловини, геолого-технічного і гідрогеологічного її стану, потрібне індивідуальне рішення ліквідації ускладнення і індивідуальний вибір технологічного варіанту електрохімічного тампонування. Тому, перш ніж приступати до тампонажних робіт, дуже важливо визначити характер ускладненої зони і глибину її розташування, для чого провести кавернометрію і дебітометрію. За результатами кавернометрії визначається об'єм каверни, а відповідно і потрібний об'єм глиноцементної пасти. Дебітометрія дозволяє уточнити розташування тріщинуватого або зруйнованого інтервалу, що поглинає промивальну рідину, і інтенсивність поглинання.

За ознаками ускладнень можуть бути вибрані наступні технологічні варіанти:

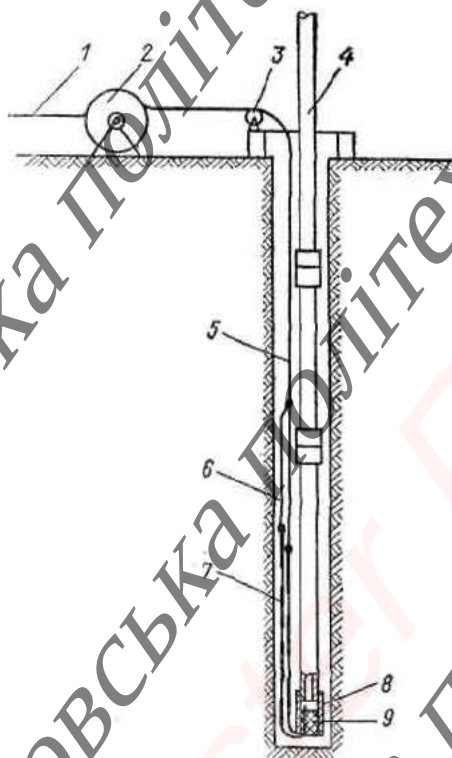
- 1) тампонування каверни і зони обвалення, що не поглинає промивальну рідину;
- 2) тампонування тріщинуватої зони з поглинанням в привибійному інтервалі;
- 3) тампонування зони порушення і поглинання промивальної рідини, розташованої в середині ствола свердловини;
- 4) цементування черевика обсадної колони.

Принциповий технологічний варіант тампонування свердловин електрохімічним способом описаний в інструктивних вказівках [14]. Практикою робіт тампонування бурових свердловин було встановлено, що технологія тампонування може змінюватися у кожному окремому випадку, тому розгляд технологічних варіантів доцільно провести послідовно.

Тампонування каверн і зон обвалення, що не поглинають промивальну рідину. За схемою, представленою на рис. 4.9, у свердловину спускають дротяний алюмінієвий електрод на двожильному кабелі одночасно з колоною бурильних труб до забою.

Для одночасного спуску електроду з колоною нижній кінець електроду (завдовжки 0,5 м) загинають у вигляді гачка, який вставляють в нижню трубу. З метою надання більшої жорсткості загнутому кінцю електроду в нього роблять вкладку із сталевого дроту діаметром 3 мм, обмотаною ізоляційною стрічкою. Потім загнутий кінець електроду повністю ізолюють щоб уникнути короткого замикання між жилами електроду. Між електродом і електричним кабелем

вставляють двожильний алюмінієвий дрiт в полхлорвініловiй iзоляцiї. Довжина iзольованої дiлянки близько 10 м. Цей дрiт потрібний, щоб мати слабку дiлянку ланцюга для розриву, оскiльки глиноцементна паста пiсля твердiння захоплює i частину кабелю, що може призводити до його обриву при пiдйомi зi свердловини.



1 – дрiт, що сполучає випрямний пристрій з кабелем на лебiдцi; 2 – лебiдка; 3 – направляючий блок; 4 – бурильна колона; 5 – мiдний двожильний електричний кабель; 6 – двожильний алюмінієвий дрiт; 7 – електрод; 8 – муфта бурильного замку; 9 – пробка

Рисунок 4.9 – Схема спуску електроду у свердловину одночасно з бурильною колоною

Довжина електроду визначається розмірами ускладненого інтервалу свердловини і потужністю джерела постійного струму (електровипрямляча), вона може коливатися від 5 до 30 м.

Спуск електроду і колони бурильних труб необхідно виконувати обережно і орієнтовано щоб уникнути накручування кабелю на колону. Після спуску електроду на вибій колону труб підводять на висоту 0,5-1 м і сполучають з провідною трубою бурового агрегату, потім приступають до приготування глиноцементної пасти.

Закачування пасти здійснюється насосом, як і при звичайному тампонуванні і цементуванні. Потім колону труб необхідно підвести вище за електрод, налити в ємність із залишками пасти 20-30 л води і продавити насосом пасту з шлангів у свердловину. Продавлювання залишків пасты безпосередньо на вибій неприпустимо, оскільки при цьому може статися розбавлення пасты водою, що різко погіршить її якість і порушить технологічний режим електрохімічного закріплення. Електрообробка пасты виробляється після підйому колони труб зі свердловини і триває протягом 2-х год (режими електрообробки наводяться нижче).

Після закінчення електрообробки пасти електричний кабель піднімають на поверхню, намотуючи на барабан лебідки. Електрод, як правило, залишається в затверділій пасті. При необхідності нарощування інтервалу закріплення ускладненої зони усі технологічні операції повторюються. Витримка закріпленого інтервалу до розбурювання триває в межах 5-8 год.

Тампонування тріщинуватої зони з поглинанням в привибійному інтервалі. Характерною особливістю тампонування тріщинуватих зон з інтенсивним поглинанням є те, що період повного поглинання тампонуваної суміші значно або у багато разів менше періоду загустівання і схоплювання її. Такі випадки в буровій практиці представляють певний інтерес. Для застосування електрохімічного способу тампонування їх можна розділити на два види:

- а) тріщинуваті зони з поглинанням в обводнених свердловинах;
- б) тріщинуваті зони з поглинанням в сухих свердловинах.

Відповідно технологічні варіанти тампонування можуть бути різними. У свердловинах обводнюють, тобто що мають певний статичний рівень підземних вод, спуск електроду і колони труб до забоя здійснюють за схемою, представленою на рис. 8. Потім колону труб піднімають вище за електрод на 1 – 2 м і на цьому інтервалі зупиняють. Включивши електровипрямляч, перевіряють електричні параметри проходження струму через воду у свердловині, тобто силу споживаного струму і напругу. Закачують пасту при включеному електровипрямлячі, таким чином вона відразу потрапляє в електричне поле. Показники амперметра і вольтметра змінюються у міру заповнення тампонуваного інтервалу свердловини пастою і встановлюються на певних значеннях. Глиноцементна паста заповнює каверни, тріщини, пори і частково поглинається, що призводить до зниження її рівня і оголення верхньої частини електроду. Протягом перших 20-30 хв це явище можна фіксувати по зменшенню сили струму і збільшенню напруги. В цьому випадку необхідно додати пасти у свердловину до повного закриття нею електроду і встановлення нормальних, режимних параметрів електрообробки.

Сталий режим показує, що пониження рівня пасти припинилося. Після цього колону труб промивають і піднімають зі свердловини. Електрообробка пасти триває протягом 2 год із зміною полярності через кожних 15 хв. Для перевірки результату тампонування у свердловину закачують воду або промивальний розчин. При необхідності додаткового тампонування інтервалу, що знаходиться вище, усі операції повторюються. Починати розбурювати затампований інтервал можна після 5-8-годинної витримки. У міцних породах витримка має бути найбільшою, а в слабких найменшою, оскільки інакше при розбурюванні може статися забурювання нового ствола свердловини.

Тампонування зон поглинання в сухих свердловинах, як показали досліди, можна проводити за двома схемами. Глибокі свердловини (понад 100 м) доцільно тампонувати по описаному вище варіанту.

Тампонування дрібних свердловин виробляється по спрощеному варіанту, без спуску заливальної колони. Для спуску електроду у свердловину до нього прив'язують невеликий вантаж, наприклад шматок керна завдовжки 15-20 см. Опустивши електрод в тампонований інтервал, через гирло свердловини за-

ливають глиноцементну пасту і проводять її електрообробку. За свідченнями амперметра і вольтметра можна визначати, чи знижується рівень пасти у свердловині; при необхідності пасту треба додавати. Електрообробка пасти триває також протягом 2 год із зміною полярності через кожних 15 хв. Потім після відповідної витримки починають розбурювання інтервалу, що був затампонований.

Тампонування зони порушення в середині ствола свердловини при поглинанні промивальної рідини. В процесі буріння свердловини іноді спостерігаються руйнування стінок – утворення тріщин, каверн – і поглинання промивальної рідини на значній висоті від забою. Це виникає як наслідок механічної дії бурильної колони і промивальної рідини. В цьому випадку дуже важливо визначити характер ускладненої зони і глибину її розташування, використовуючи кавернометрію і дебітометрію. Тампонування ускладненої зони, розташованої високо над забоем свердловини, виробляється з установкою пробки, тобто нижче ускладненої зони створюється штучний вибій. Способи установок пробок у свердловинах описані в літературі, тому тут, ми їх не розглядаємо.

Після створення штучного забою у свердловину опускають електрод і закачують глиноцементну пасту, тобто виконують тампонування відповідно до описаних раніше варіантів.

Цементування черевика обсадної колони. Ця операція зазвичай виробляється відразу після спуску колон у свердловину з метою ізоляції верхніх ускладнених зон. Від якості цементування залежить стійкість обсадної колони. Проте в процесі буріння виникає вібрація обсадних труб і відповідна дія на гірські породи, внаслідок чого цементне кільце руйнується. За обсадною колоною відкриваються зони поглинання, і дуже часто з обваленням стінок. Подальше буріння свердловини стає скрутним, малопродуктивним, навіть можливі аварії.

Аварійну обстановку, що створилася, необхідно швидко і якісно усунути, тобто обсадну колону треба повторно зацементувати з продавлюванням цементного розчину за колоною на можливо велику висоту. Для створення надійної опори нижче за обсадні труби необхідно зробити цементний міст. Спочатку встановлюють пробку нижче за труби на 10-15 м. Потім у свердловину спускають електрод завдовжки 5-7 м і закачують глиноцементну пасту за розрахунковим обсягом. Провівши електрообробку пасти протягом 2 год і витримавши її протягом 8 год, цементують обсадну колону під тиском. Після відповідної витримки цементу можна приступити до розбурювання цементного каменю і до подальшого буріння свердловини.

Проведені автором досліді по ремонту свердловин у виробничих умовах показали позитивні результати.

Режими закріплення глиноцементної пасти у свердловині

Дослідженнями встановлено, що найкращий результат при електрохімічному закріпленні глиноцементної пасти досягається при пропусканні струму силою 2 а на 1 м довжини електроду при градієнті потенціалу 5 в/см. Градієнт потенціалу є часткою від ділення величини напруги на електроді на відстань між двома сусідніми полюсами електроду. Рекомендований для виробництва електрод має відстань між полюсами 6 см, отже, напруга повинна відповідно

дорівнювати 30 ст. Довжину електроду розраховують по споживаній силі струму і характеристиці джерела постійного струму (електровипрямляча). В окремих випадках тампонажних робіт (при не дуже значних поглинаннях) допускається пропускання струму силою 1 а на 1 м довжини електроду. Проте необхідно мати на увазі, що ефект електрохімічного закріплення глиноцементної пасти при цьому знижується. Крім того, необхідно розрахувати втрати напруги на кабелі. Маючи джерело постійного струму (електровипрямляч) з певною характеристикою випрямленого струму і напруги, слід підібрати для укомплектування електричний кабель певної довжини. Режими обробки глиноцементної пасти приведені в табл. 4.1. Обробка пасти струмом ведеться із зміною полярності через кожні 15 хв (шляхом перемикання полюсів у джерела постійного струму).

У первинний період обробки пасти подається струм найбільшої сили (табл. 4.1), потім вона поступово знижується і підвищується напруга (це пояснюється утворенням кристалічної структури пасти і зростанням її електричного опору). Межі вимірів сили струму і напруги можуть бути різними залежно від електропровідності глиноцементної пасти, вміщуючих порід і мінералізації підземних вод.

У певних районах робіт в процесі накопичення досвіду режим електрохімічного закріплення паст у свердловинах відпрацьовується з великою точністю.

Таблиця 4.1

Режими електрообробки

Довжина електроду, м	Споживаний струм, А	Необхідна напруга на електроді, В
10	10-20	30
20	20-40	30
30	30-60	30

Приготування глиноцементної пасти і відріток режимів її електрохімічного закріплення

Дослідженнями, виконаними в лабораторії і в практичній роботі по електрохімічному тампонуванню свердловин, визначений склад глиноцементної пасти, що має кращі властивості:

Цемент тампонажний для холодних свердловин, %	90
Глина (каолін), %	10
Хлористий кальцій, % маси цементу і глини	2
Відношення маси води до маси цементу і глини	0,55-0,65
Розтікання пасти (до конусу), см	11-14

Примітка. При використанні монтмориллонітових глин в пасту необхідно вводити 6-8% гашеного вапна від маси глини.

Глиноцементна паста готується в глиномішалці (як виняток, в окремих місткостях вручну). У глиномішалку заливають необхідний об'єм води, засипають глину і перемішують отриману масу протягом 10-15 хв. Потім в глинистий розчин засипають цемент (при цьому необхідно періодично повертати вал мішалки) і знову перемішують суміш 15- 20 хв. У приготовану пасту вводять хлористий кальцій, розчинений в теплій воді, після чого суміш перемішують ще 2

хв. З приготованої пасти береться проба, потім паста закачується у свердловину.

Для відробки режимів закріплення глиноцементної пасти, а також визначення якості цементу, термінів твердіння і набору міцності доцільно провести досвід тампонування на поверхні. Роль свердловини виконують канавка завдовжки 10 м або два кернових ящики. У секції кернових ящиків укладають електрод і засипають щебенем. Потім секції ящиків заповнюють глиноцементною пастою. З'єднавши електрод з струмопідводящим кабелем електровипрямляча, проводять електрообробку пасти, змінюючи полярність через кожних 15 хв. Електрообробка триває до твердіння пасти.

Таким чином, візуально визначають режим і тривалість закріплення пасти і порівнюють отримані дані з даними з відібраної проби глиноцементної пасти для твердіння без електрообробки. Як встановлено багаторічною практикою тампонажних робіт, різноманітність марок цементів, різні терміни і можливості його зберігання обумовлюють зміни якості цементу і, природно, режимів його закріплення.

Устаткування для електрохімічного тампонування свердловин

Для електрохімічного тампонування свердловин можуть використовуватися будь-які типи, бурових верстатів і самохідних бурових установок, що мають електрогенератори, а також:

- лебідка для кабелю (ручна або механічна);
- джерело постійного струму (електровипрямляч);
- електричний кабель;
- дротяний алюмінієвий електрод;
- направляючий ролик.

Як джерело постійного струму можуть бути використані портативні електровипрямлячі наступних типів: ВУ-110/24А з випрямленим струмом 24 А при напрузі 100 В; ВСА-III і ВСА-5 з випрямленим струмом 15 А при напрузі 150 В. Крім того, можуть бути застосовані зарядні і випрямні агрегати, що мають регулювальників сили струму і напруги.

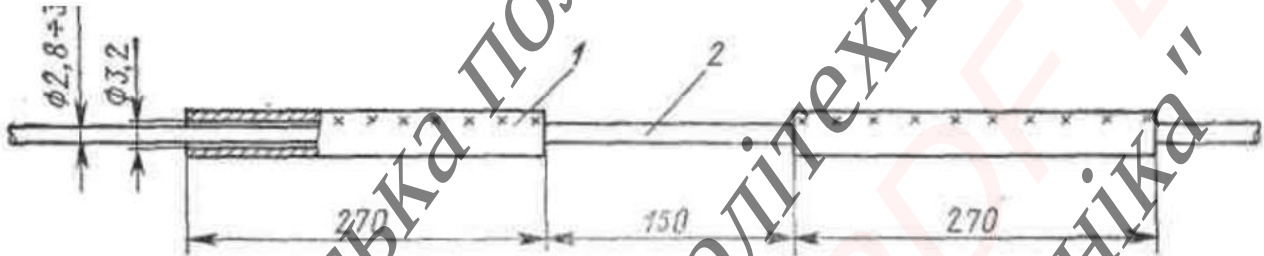
Для передачі електроенергії дротяному електроду можуть бути використані двожильні кабелі в подвійній гумовій ізоляції типу КРПТ ($2 \times 6 \text{ мм}^2$ і $2 \times 4 \text{ мм}^2$) і РПШ ($2 \times 6 \text{ мм}^2$ і $2 \times 4 \text{ мм}^2$), а також дріт для геофізичних робіт ГПСМП ДСТ 6021-69*, сполучений в дві жили ізоляційною стрічкою через 1-1,5 м.

Деякі електричні кабелі випробовувалися на розрив. Так, розривне зусилля для двожильного кабелю складає близько 300 кгс; маса кабелю завдовжки 1 км – 360 кгс. Розривне зусилля одножильного геофізичного дроту ГПСМП – близько 500 кгс.

Для надання кабелю більшої міцності його сполучають по усій довжині із сталевим канатом діаметром 3-5 мм і перев'язують шпагатом або ізоляційною стрічкою через кожен метр.

Електроди виготовляють з алюмінієвого дроту діаметром 2,8-3,0 мм, причому кожен жилу електроду окремо (рис. 4.10). На вирівняний дріт через 150 мм один від одного надівають ізоляційні поліхлорвінілові трубки завдовжки 270 мм. Для розм'якшення нарізані трубки перед надяганням на дріт доцільно

підігрівати в теплій воді. Дві виготовлені жили електроду сполучають разом, як показано на рис. 4.11, ізольовані проміжки обох жил обмотують ізоляційною стрічкою. В процесі паралельного з'єднання жил електроду один з одним необхідно мірним шаблоном контролювати розмір ізольованого перекриття жил (воно має дорівнювати 60 мм). Зміна цієї величини може спричинити зміну, градієнта потенціалу при електрообробці на цій ділянці і порушення технологічного режиму закріплення паста.



1 – трубка поліхлорвінілова, 2 – дріт алюмінієвий.

Рисунок 4.10 – Жила електроду

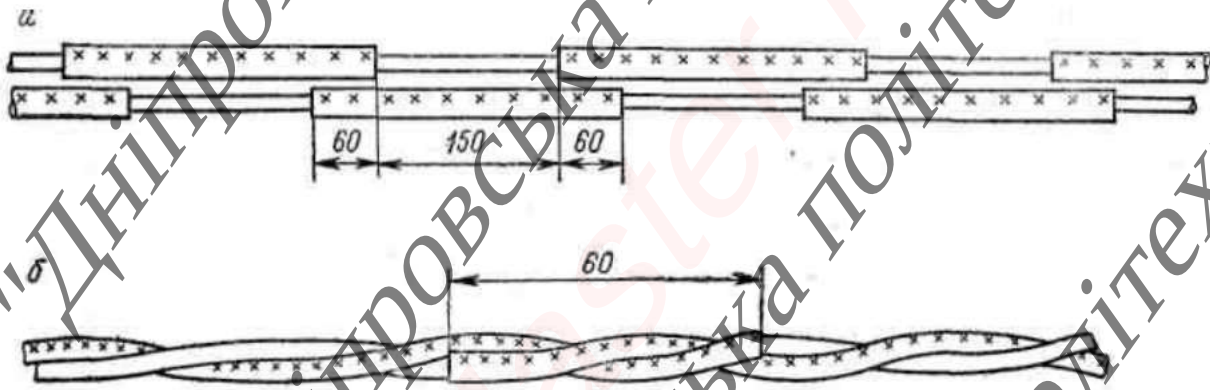


Рисунок 4.11 – Багатошлосні електроди з паралельними (а) і із звитими жилами (б)

Жили на нижньому кінці електроду додатково ізолюють один від одного стрічкою на довжину 400-500 мм і потім обмотують стрічкою разом з прокладеною паралельно сталевим ізольованим дротом. Цей кінець електроду загинають для зачеплення за нижній торець бурильної колони при спуску у свердловину.

Верхній кінець електроду сполучають з двожильним алюмінієвим дротом, що має довжину 10 м, який у свою чергу сполучають з струмопідводним кабелем. Місця з'єднань надійно ізолюють стрічкою, щоб унеможливити короткого замикання при електрообробці. Електрод на кабелі обережно спускають у свердловину і проводять усі необхідні операції по тампонуванню свердловини.

4.4 Оптимізація технології електрохімічного закріплення свердловини

Ступінь закріплення свердловини електрообробкою характеризується кількістю пропущеного через тампонажний розчин електрики.

Глибини заходки зазвичай приймається рівною 1,5-5 м. При необхідній більшій потужності поглинаючого горизонту закріплення повинно виконуватись у декілька заходок за висотою.

Найбільш раціональною схемою розташування електродів враховуючи круглий переріз свердловини є кущова схема з одним катодом усередині і декількома анодами розташованими по периметру біля стінок свердловини.

Розрахунок параметрів технології електрохімічного закріплення свердловини проведемо враховуючи рекомендації таких джерел [78, 79].

Прийемо такі вихідні дані:

- діаметр свердловини – 244,5 мм;
- гірські породи – супісі;
- потужність зони закріплення – 5 м;
- діаметр анодів – 20 мм;
- діаметр катода – 20 мм;
- схема розташування електродів – кущова (6 анодів, 1 катод);
- відстань між електродами – 85 мм.

Розрахунок потрібних потужностей та витрати електроенергії при електрохімічному закріпленні визначимо таким чином.

Максимальний допустимий електричний опір ґрунту, що закріплюють визначають за формулою

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot n_a \cdot h_z} \ln \frac{C^{n+1}}{n_a \cdot r_a \cdot r_k^n}, \text{ Ом} \quad (4.1)$$

де ρ – питомий спротив ґрунту, Ом·м, для супісей можна прийняти $\rho = 30$ Ом·м;

n_a – кількість анодів;

h_z – потужність зони закріплення;

C – відстань між анодами, м;

r_a – радіус анодів, м;

n – загальна кількість електродів;

r_k – радіус катода, м.

Підставивши чисельні значення, отримаємо

$$R = \frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 6 \cdot 5} \ln \frac{0,085^{7+1}}{5 \cdot 0,01 \cdot 0,01^7} = 2,43 \text{ Ом.}$$

Потрібна потужність установки постійного електричного току визначається за формулою

$$P = \frac{U^2}{R}, \text{ Вт.} \quad (4.2)$$

де U – різниця потенціалів, В, приймаємо $U = 100$ В.
Тоді

$$P = \frac{100^2}{2,43} = 4106 \text{ Вт.}$$

Сила току на одиницю довжини завіси визначається за формулою

$$i = \frac{U}{RC_n}, \text{ А/м.} \quad (4.3)$$

Підставивши чисельні значення, отримаємо

$$i = \frac{100}{2,43 \cdot 0,085 \cdot 7} = 69 \text{ А/м.}$$

Витрату електроенергії визначимо за формулою

$$W = PT, \text{ Вт год,} \quad (4.4)$$

де T – тривалість електрохімічної обробки зони закріплення, год, прийmemo $T = 8$ годин.

Тоді маємо

$$W = 4106 \cdot 8 = 32848 \text{ Вт год.}$$

Визначимо оптимальну схему розташування електродів.

Для цього проведемо аналогічні розрахунки для різних схем розташування електродів. В центрі завжди буде розташовуватись один катод, а по колу будуть розташовані аноди. В залежності від кількості електродів буде змінюватись відстань між ними. Приймемо, що середини електродів розташовані на діаметрі 200 мм.

Для вирішення цього завдання складемо розрахункову схему, яка наведена на рис. 4.12.

З рис. 4.12 радіус зони розташування електродів, порівнює

$$R = r + \frac{r}{\sin \frac{\varphi}{2}}. \quad (4.5)$$

Звідси видно, що

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{r}{R - r}. \quad (4.6)$$

Тоді центральний кут між дотичними до електроду φ визначимо як

$$\varphi = 2 \arcsin \frac{r}{R - r}, \quad (4.7)$$

або виразимо і більш зручному для подальшого використання вигляді

$$\varphi = 2 \arcsin \frac{d}{D - d}. \quad (4.8.)$$

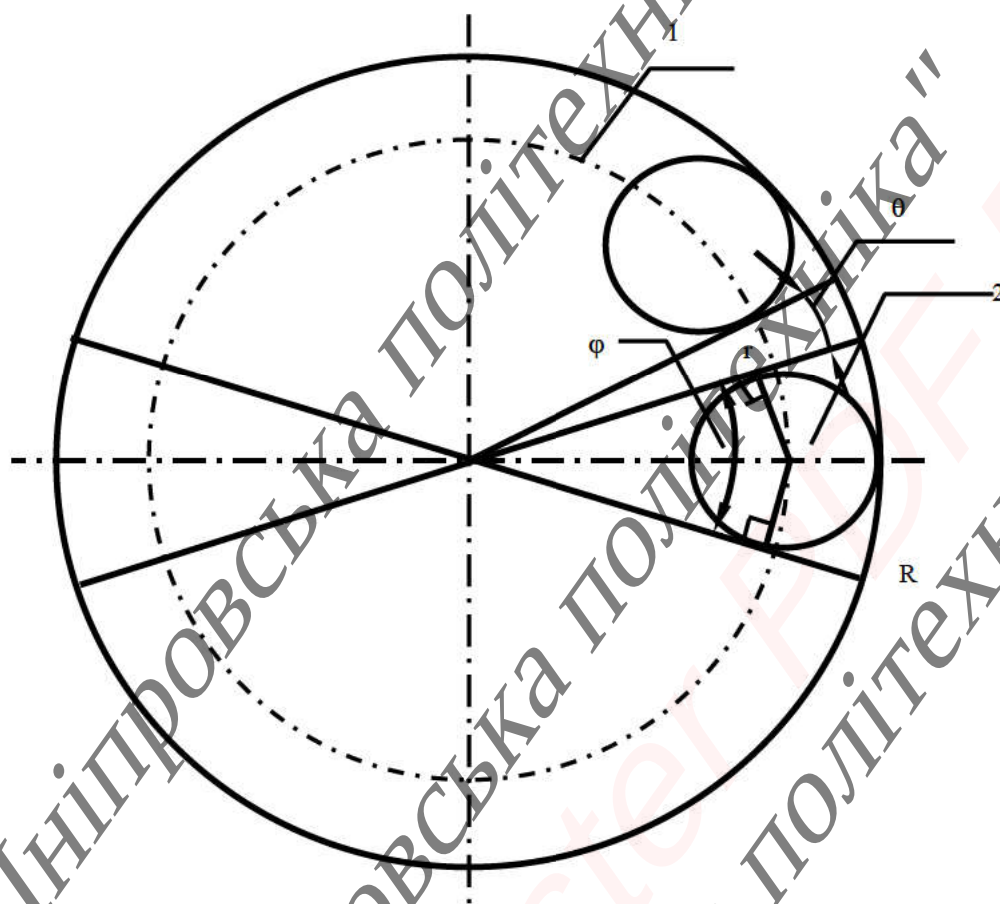


Рис. 4.12 – Розрахункова схема для визначення відстані між електродами:

1 – діаметр розташування середин електродів;

2 – електрод (анод);

R – радіус зони розташування електродів;

r – радіус електрода;

φ – центральний кут між дотичними до електрода;

θ – кутова відстань між сусідніми електродами.

Тоді кількість електродів заданого діаметру, яке можна розташувати на в свердловині, визначимо як

$$n = \frac{2\pi}{2\arcsin \frac{d}{D-d}} \frac{\pi}{\arcsin \frac{d}{D-d}}, \quad (4.9)$$

або з урахуванням того, кількість електродів n завжди є цілим числом

$$n = \left[\frac{\pi}{\arcsin \frac{d}{D-d}} \right]. \quad (4.10)$$

Таким чином сумарний кутовий простір незайнятий електродами (у радіанах), визначимо як

$$\sum \theta = 2\pi - n\varphi, \quad (4.12)$$

або з урахуванням (4.8) и (4.10) маємо

$$\sum \theta = 2\pi - \left[\frac{\pi}{\arcsin \frac{d}{D-d}} \right] 2 \arcsin \frac{d}{D-d}. \quad (4.13)$$

Тоді кутова відстань між сусідніми електродами

$$\theta = \frac{\sum \theta}{n}, \quad (4.14)$$

або підставляючи значення n і $\sum \theta$ з (4.11) і (4.13), отримаємо

$$\theta = \frac{2\pi - \left[\frac{\pi}{\arcsin \frac{d}{D-d}} \right] 2 \arcsin \frac{d}{D-d}}{\left[\frac{\pi}{\arcsin \frac{d}{D-d}} \right] - \left[\frac{\pi}{\arcsin \frac{d}{D-d}} \right] 2 \arcsin \frac{d}{D-d}}. \quad (4.15)$$

Тоді відстань між сусідніми електродами виражена в метрах буде дорівнювати

$$C = \theta d, \quad (4.16)$$

Для визначення оптимальної кількості електродів для електрохімічного закріплення свердловини проведемо за викладеною методикою розрахунки для схем с різною кількістю електродів.

Результати розрахунків в табличному і графічному вигляді наведені в табл. 4.2. і нарис. 4.13.

На рис. 4.13 наведений суміщений графік електричного опору ґрунту, що закріплюють і витрати електроенергії. Для підвищення ефективності процесу закріплення і зниження витрат електроенергії необхідно прагнути до мінімальних значень обох показників.

Виходячи з цих міркувань, для даних конкретних умов приймаємо схеми з 11 електродами (точка перетинання двох кривих на суміщеному графіку).

4.5 Висновки за розділом

1. Враховуючи, що при електрохімічному методі зі знаковмінними імпульсами процес закріплення ґрунту в основному обумовлюється електролізом, міграцією електролітів і супутніми їм обмінними і хімічними реакціями, при сприятливій ролі електроосмосу, для нього найбільш оптимальними режимами є:

а) Для досягнення більшої ефективності закріплення в найкоротший час процес електрообробки треба виробляти при максимальній, можливо більшій щільності струму близько $10-50 \text{ mA/cm}^2$, що досягається при відстані між електродами близько $20-60 \text{ mm}$, при якому не відбувається короткого замикання, із зміною полярності через 1 год.

б) Слабка напруга близько $25-30 \text{ V}$ спочатку для попередження швидкого розігрівання ґрунту, щоб уникнути порушення первинних зв'язків і сильного його набрякання, з наступним збільшенням напруги до 100 V і більш, з метою підвищення температури і, отже, прискорення процесів реакцій і формування новоутворень цементуючих речовин і мінералів. При цьому необхідно забезпечити підвищену силу струму в межах $3-10 \text{ A}$ для інтенсивної течії електролітичних процесів, що підтверджено цілим рядом дослідів.

в) Залежно від вживаного розчину, матеріалу електродів, типу ґрунту при згаданому вище режимі витрата електроенергії може значно коливатися і складає приблизно $10-50 \text{ кВт-год}$ на 1 пог. м свердловини, при закріпленні стінки завтовшки приблизно 20 mm .

2. а) Для забезпечення найбільш сприятливих умов закріплення як в частині швидкості, так і ефективності в сферу дії електролітичних процесів необхідно ввести матеріал електроду, зокрема, алюміній і залізо.

При вживанні алюмінієвих і залізних електродів, через електролітичне їх розчинення в кислому середовищі, в розчині з'являються тривалентні Al^{3+} і Fe^{3+} іони, маючи велику енергію обміну, заміщають в дифузних оболонках глинистих часток іони (зазвичай Ca^+ , Mg^+ і Na^+), що знаходяться в них. Ця заміна зменшує гідрофільність глинистих порід, знижує здатність до набрякання і їх пластичні властивості. При рН, що змінилася, утворюються гелі гідроксидів алюмінію і заліза і новоутворення мінералів, які також беруть активну участь в зміцненні ґрунту. Усе це разом узятє і створює міцні зв'язки між частками, що обумовлюють підвищену механічну міцність закріпленого ґрунту під впливом постійного струму.

б) При електрообробці знакозмінними імпульсами практично усувається зональність в міжелектродному об'ємі ґрунту і переважає лужна реакція, у зв'язку з цим як електроди може бути використаний переважно алюміній, але, враховуючи періодичну зміну лужної реакції на кислу, залізний електрод також може піддаватися корозії і брати участь в електролітичних процесах і, як метал, що менш стирається і стійкий, в лужному середовищі, може забезпечити рідкіснішу змінюваність електродів при зміцненні стінок свердловин. Тому як електроди рекомендується комбінація алюмінію і заліза.

3. Розроблені рекомендації з удосконалення технології електрохімічного закріплення бурових свердловин. Обрані критерії оптимізації – мінімальні опір закріплюваного ґрунту і витрати електроенергії.

Таблиця 4.2

Результати розрахунків схем с різною кількістю електродів

N	n, шт	n _a , шт	C, м	R, Ом	P, Вт	i, А/м	W, кВтч
1	2	1	0,608319	11,76888	850	7	6,798
2	3	2	0,294159	6,127305	1632	18	13,056
3	4	3	0,18944	4,331819	2308	30	18,468
4	5	4	0,13708	3,419022	2925	43	23,399
5	6	5	0,105664	2,844601	3515	55	28,123
6	7	6	0,08472	2,435445	4106	69	32,848
7	8	7	0,06976	2,119445	4718	85	37,746
8	9	8	0,05854	1,861132	5373	102	42,985
9	10	9	0,049813	1,640931	6094	122	48,753
10	11	10	0,042832	1,447079	6910	147	55,284
11	12	11	0,03712	1,272008	7862	176	62,893
12	13	12	0,03236	1,110565	9004	214	72,035
13	14	13	0,028332	0,959062	10427	263	83,415
14	15	14	0,02488	0,814728	12274	329	98,192
15	16	15	0,021888	0,675382	14806	423	118,451
16	17	16	0,01927	0,539218	18545	566	148,363
17	18	17	0,01696	0,404658	24712	809	197,698
18	19	18	0,014907	0,270244	37004	1307	296,028
19	20	19	0,013069	0,134545	74324	2843	594,595

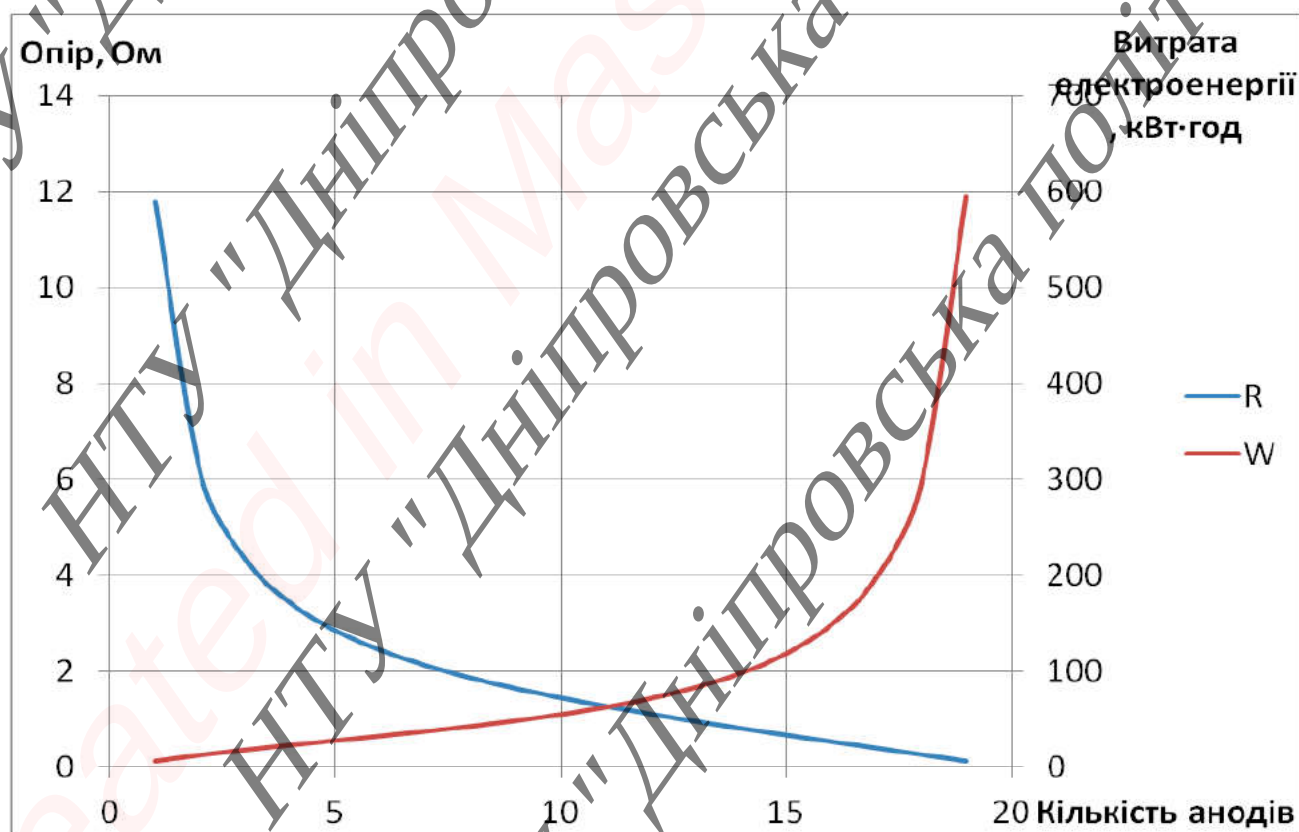


Рисунок 4.13 – Суміщений графік електричного опору ґрунту і витрат електроенергії

5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ

Розрахунок ведемо за методикою, викладеною в [7].

Розрахунок виробимо для наступних умов (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Початкові дані для розрахунку економічної ефективності

Параметр	Одиниця виміру	Величина
Інтервал геологічного ускладнення (інтервал кріплення)	м	530-580
Діаметр свердловини	мм	244,5
Вартість матеріалів для трубного кріплення	грн.	20000
Вартість матеріалів для електрохімічного кріплення	грн.	25000
Вартість устаткування для електрохімічного кріплення	грн.	25000*
Час тампонування при технології трубного кріплення	вер.зм	3,035*
Час тампонування розробленою технологією електрохімічного кріплення	вер.зм	2,5
Кількість спусків до виходу з ладу при технології трубного кріплення	шт	1
Кількість спусків до виходу з ладу устаткування при розробленій технології електрохімічного кріплення	шт	5
Середня вартість γ станко-смени буріння	грн.	50000

Примітка: розрахунки приведені нижче в таблицях 5.2 і 5.3.

Результати розрахунку кошторисної вартості виготовлення устаткування для електрохімічного кріплення приведені в таблицю. 5.2. Розрахунок зроблений по нормативах ПО «Спецтампаажгеологія».

Таблиця 5.2

Розрахунок кошторисної вартості устаткування для електрохімічного кріплення

Статті витрат	Одиниця виміру	Технологія електрохімічного кріплення
Матеріали	грн.	55000
Матеріали з урахуванням ТЗР	1,1366	6250
Зарплата основна	грн.	6000
Премії і доплати	2%	120
Резерв	4%	240
Разом зарплата	грн.	6360
Відрахування до пенсійного фонду	32%	2035,0
Відрахування на соцстрах	4%	254,0
Відрахування до фонду зайнятості	1,5%	100
Цехові і загальнозаводські витрати від основної зарплати	27%	1620,0
Планова вартість	грн.	16616,0
Рентабельність	25%	4210
Разом	грн.	20830,0
ПДВ	20%	4170,0
Вартість одиниці продукції	грн.	25000

Таблиця 5.3 – Розрахунок витрат часу на виконання допоміжних робіт

Види робіт	№ таблиця	Об'єм робіт	Н _д по ЗУКН 13	Разом вер.зм
1. Цементування колони обсадних труб	4.4	1	1,6	1,6
2. Кріплення свердловин обсадними трубами	4.11	50/100	0,87	0,435
3. Очікування твердіння цементу		1		1
Разом				3,035

Визначимо економічну ефективність застосування технології електрохімічного кріплення.

1. Вартість роботи бурової установки для кріплення 1 виробки стандартною технологією трубного кріплення

$$C_{pc} = C_1 \cdot V_c \quad (5.1)$$

де C_1 – середня вартість 1 верстато-змінні роботи бурової установки;
 V_c – тривалість робіт при стандартній технології трубного кріплення.

Тоді

$$C_{pc} = 50000 \cdot 3,035 = 151750 \text{ грн.}$$

Вартість роботи бурової установки для кріплення 1 виробки розробленою технологією електрохімічного кріплення

$$C_{pp} = C_1 \cdot V_p \quad (5.2)$$

де V_p – тривалість робіт при розробленій технології електрохімічного кріплення.

Тоді

$$C_{pp} = 50000 \cdot 2,5 = 125000 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на тампонування вироблення при стандартній технології трубного кріплення

$$C_{oc} = C_{pc} + C_{mc} \quad (5.3)$$

де C_{mc} – вартість матеріалів при стандартній технології трубного кріплення.

Маємо

$$C_{oc} = 151750 + 20000 = 171750 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на тампонування виробок розробленої технологія електрохімічного кріплення

$$C_{\text{оп}} = (C_{\text{пр}} + C_{\text{мр}}) \cdot N + C_{\text{обр}}, \quad (5.4)$$

де $C_{\text{мр}}$ – вартість матеріалів для електрохімічного кріплення;
 $C_{\text{обр}}$ – вартість устаткування для електрохімічного кріплення;
 N – кількість свердловин, яка тампонується розробленим устаткуванням для електрохімічного кріплення до його зносу.

Отримаємо

$$C_{\text{оп}} = (125000 + 25000) \cdot 5 + 25000 = 775000 \text{ грн.}$$

Тоді вартість тампонування 1 свердловини при стандартній технології грубого кріплення складає 17175 грн., а при розробленій технології електрохімічного кріплення визначимо по формулі

$$C_{\text{оп1}} = \frac{C_{\text{оп}}}{N} = \frac{775000}{5} = 155000 \text{ грн.} \quad (5.5)$$

2. Визначимо економічну ефективність на одну тампоновану виробку

$$E_{\text{1вир}} = C_{\text{ос1}} - C_{\text{оп}} = 171750 - 155000 = 16750 \text{ грн.} \quad (5.6)$$

3. Визначаємо економічну ефективність на один комплект устаткування для електрохімічного кріплення

$$E_{\text{1п}} = E_{\text{1вир}} \cdot N.$$

Підставляємо чисельні значення

$$E_{\text{1п}} = 16750 \cdot 5 = 83750 \text{ грн.}$$

4. Визначаємо економічну ефективність на одну вкладену в устаткування для електрохімічного кріплення гривну

$$E_{\text{1грн.}} = \frac{E_{\text{1п}}}{C_{\text{обр}}}, \quad (5.7)$$

Тоді

$$E_{\text{1грн.}} = \frac{83750}{25000} = 3,35 \text{ грн./грн.}$$

Зведемо результати розрахунків в таблиці. 5.4.

Таблиця 5.4 – Економічна ефективність застосування технології електрохімічного кріплення

Параметр	Од. вимірів	Величина
Ефективність на 1 свердловину	грн.	16750,0
Ефективність на 1 комплект устаткування для електрохімічного кріплення	грн./м	83750,0
Ефективність на 1 вкладену гривну	грн.	3,35

Особливо добре вигоду від використання технології електрохімічного кріплення характеризує такий показник як ефективність на одну вкладену гривну, яка складає 3,35 грн.

Висновки за розділом

Розроблена технологія електрохімічного закріплення гірських порід має значну економічну ефективність у порівнянні з закріпленням свердловин трубним способом, навіть без урахування вигід від зменшення діаметру свердловини.

Ефективність технології при застосуванні на одній свердловині складає майже 17 тис. грн..

6 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Безпека праці при будівництві свердловини

Уведення змонтованої бурової установки в роботу здійснюється за рішенням комісії з приймання бурової установки після повної готовності, випробування, обкатування всього обладнання та за наявності укомплектованої бурової бригади. Склад комісії визначається наказом по підприємству. В роботі комісії бере участь представник Держгірпромнагляду. Готовність до пуску оформлюється актом. Пускова документація повинна зберігатись на буровому підприємстві і на буровому майданчику.

У процесі буріння згідно з нормативно-технічними документами контролюються такі параметри:

- а) вага на гаку з реєстрацією на діаграмі;
- б) якісна характеристика бурового розчину з реєстрацією в журналі;
- в) тиск у маніфольді бурових насосів з реєстрацією на діаграмі чи в журналі;
- г) рівень розчину в приймальних ємностях під час буріння.

Контрольно-вимірювальні прилади для контролю за процесом буріння повинні перебувати в полі зору бурильника і бути захищеними від вібрації та атмосферних опадів.

У процесі буріння необхідно контролювати траєкторію стовбура свердловини. Обсяг та періодичність вимірів визначаються проектом. На буровій установці повинна бути схема фактичної траєкторії стовбура в просторі.

На буровій установці необхідно щодня заповнювати вахтовий журнал установленої форми.

У процесі буріння після завершення додання ведучу трубу та першу світу необхідно підіймати на першій швидкості.

Начальник бурової установки або буровий майстер надає керівництву бурового підприємства добовий рапорт про роботи, що проведені на буровій. До добового рапорту додаються діаграми реєструвальних контрольно-вимірювальних приладів. Організація і порядок зміни вахти встановлюються положенням, розробленим буровим підприємством.

Відповідно до вимог системи стандартів безпеки праці, ДСТУ15–001–88 (п. 4.2), ДСТУ 12.2.003 – 91 перед початком монтажних і бурових робіт передбачається вхідний контроль обладнання, приладів і інструменту на відповідність їх ДСТУ і ТУ, а також наявність паспортів на все обладнання, прилади і інструмент.

До проведення робіт по бурінню свердловини допускаються фахівці, які мають спеціальну освіту і практичний досвід роботи, а при бурінні похило направлених свердловин бурова бригада повинна бути навчена згідно діючих інструкцій і регламентів буріння похило направлених свердловин.

Згідно п. 6.3.29 Правил безпеки в нафтогазовидобувній промисловості України та ДСТУ 320.02829777.014–99, з метою запобігання безпечної експлуатації бурова вежа, крон блок, рама крон блока, підкронблочні балки піддаються не рідше одного разу в два місяці механіком і буровим майстром, а також не рі-

дше одного разу на рік – ретельному огляду спеціальною бригадою по огляду бурових веж в порядку, визначеному підприємством. Результати огляду за їх підписами заносяться в журнал перевірки технічного стану обладнання.

Результати перевірки технічного стану бурової вежі оформлюється актом за підписом спеціалістів, що проводили огляд.

6.2 Пожежна безпека

Організація і порядок навчання, проведення інструктажів, перевірки знань з питань охорони праці та пожежної безпеки й допуску персоналу до самостійної роботи здійснюється відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 N 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за N 231/10511 (НПАОП 0.00-4.12-05); Переліку робіт з підвищеною небезпекою, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 N 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за N 232/10512 (НПАОП 0.00-8.24-05); Типового положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 29.09.2003 N 368, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 11.12.2003 за N 1148/8469 (НАПБ Б.02.005-2003); Переліку посад, при призначенні на які особи зобов'язані проходити навчання і перевірку знань з питань пожежної безпеки, та порядку їх організації, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 29.09.2003 N 368, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 11.12.2003 за N 1147/8468 (НАПБ Б.06.001-2003). Не дозволяється допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з охорони праці і пожежної безпеки.

До керівництва роботами з буріння, освоєння і ремонту свердловин, ведення геофізичних робіт у свердловинах, а також з видобування та підготовки нафти і газу допускаються особи, що мають освіту за фахом, пройшли навчання та перевірку знань з охорони праці відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 та пожежної безпеки відповідно до НАПБ Б.02.005-2003.

На площадці бурової необхідно передбачити зовнішнє водозабезпечення для пожежогасіння згідно « Протоколу технічної наради з питань зовнішнього водо забезпечення площадок бурових БУ «Укрбургаз» для пожежогасіння» від 06.07.2000р. і типової схеми «Зовнішнього водо забезпечення бурових БУ «Укрбургаз» для пожежогасіння».

Транспорт при в'їзді на територію вибухопожежонебезпечних об'єктів повинен бути обладнаний іскрогасником.

Улаштування виробничих будівель і споруд повинно відповідати вимогам проекту, державних будівельних норм «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва» (ДБН В.1.1-7-2002), будівельних норм і правил «Произ-

водственные здания» (СНиП 2.09.02-85*), «Сооружения промышленных предприятий» (СНиП 2.09.03-85), «Административные и бытовые здания» (СНиП 2.09.04-87) і Правил безпеки в нафтогазодобувній промисловості України N 497/15188.

Підприємство (підрозділ, служба тощо) зобов'язане мати масштабні плани своїх комунікацій з точними прив'язками і надійними реперами.

Відстань між спорудами повинна відповідати вимогам будівельних норм і правил «Генеральные планы промышленных предприятий» (СНиП II-89-80).

Виробничі будівлі і споруди закріплюються за виробничими підрозділами підприємства. Начальники підрозділів є особами, що відповідають за експлуатацію, протипожежний стан, збереження і ремонт закріплених за ними споруд, будівель або окремих приміщень.

Виробничі приміщення повинні мати не менше двох входів (виходів), розташованих з протилежних боків приміщення. Вікна і двері приміщення повинні відкриватися назовні. Підлога повинна бути з вогнестійких матеріалів.

На вході до приміщень повинні бути вивішені таблички з позначенням категорії приміщення щодо вибухопожежної і пожежної небезпеки згідно з «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. СНиП 24-86», затвердженим Міністерством внутрішніх справ СРСР від 27.02.86 (НАПБ Б.07.005-86), 1 класом зони.

Входи до приміщень повинні бути улаштовані тамбур-шлюзами або повітряно-тепловими завісами в холодну пору року.

Кожне виробниче приміщення повинне мати не менше одного основного проходу шириною не менше 1,5 м.

Автоматичне пожежогасіння і пожежну сигналізацію в будівлях необхідно передбачати згідно з Переліком однотипних за призначенням об'єктів, які підлягають обладнанню автоматичними установками пожежогасіння та пожежної сигналізації, затвердженим наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 22.08.2005 N 161, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 05.09.2005 за N 990/11270 (НАПБ Б.06.004-2005).

Усі приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння відповідно до Типових норм належності вогнегасників, затверджених наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 02.04.2004 N 151, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 29.04.2004 за N 554/9153 (НАПБ Б.03.001-2004).

Куріння на підприємстві дозволяється лише в спеціально відведених місцях за погодженням з органами державного пожежного нагляду України. Ці місця повинні бути обладнані урнами і ємностями з водою, а також написами «Місце для куріння».

Обладнання на об'єкті повинно розташовуватися так, щоб була можливість зручного і безпечного його обслуговування і ремонту. Відстань між обладнанням та відстань від обладнання до стін будівлі повинна бути не менше ніж 1 м, а ширина робочого проходу не менше ніж 0,75 м.

Робочі місця, об'єкти, джерела протипожежного водопостачання та місця розташування первинних засобів пожежогасіння, проїзди та підходи до них, проходи і переходи в темний час доби повинні бути освітлені. Залежно від кількості робочих змін зовнішнє освітлення території і окремих об'єктів допускається вмикати лише під час огляду або ремонту обладнання.

6.3 Додаткові вимоги до техніки безпеки при електрохімічному закріпленні

Процес електрохімічного закріплення ґрунтів пов'язаний із застосуванням електричного струму високої напруги (до 120 В) і струмопровідних матеріалів, тому суворе дотримання правил техніки безпеки є найпершим обов'язком кожного робітника і керівника, пов'язаного з виконанням цього процесу.

При роботах по уточненню гідрогеологічних умов і занурення електродів особливу увагу потрібно звертати, щоб ніхто не знаходився під віброзанурювачем в процесі його роботи і перестановки. Всілякі підтримки електродів і рознімною обойми повинні проводитися за допомогою кліщів або інших пристосувань. Якщо для занурення електродів застосовуються електровібратори, то їх корпусу повинні бути заземлені.

При приготуванні електролітів і їх нагнітанні в який закріплюється ґрунт повинні дотримуватися таких правил техніки безпеки. Розчини повинні готуватися на відкритих відокремлених майданчиках або в окремих приміщеннях, оснащених примусовою вентиляцією. Особливу увагу необхідно звертати на ретельність зберігання концентрованих кислот (сірчаної і соляної) і на порядок їх розведення. Всі роботи, пов'язані з розведенням кислот до робочих концентрацій, повинні проводитися в гумовій спецодезії і захисних окулярах. Робочі концентрації соляної і сірчаної кислот (при $\gamma = 1,03$ і $1,06$) є безпечними для відкритих ділянок шкіри і слизової оболонки очей. Однак в разі потрапляння навіть розбавлених кислот на оголену частину тіла і особливо в очі необхідно терміново і рясно промити їх чистою водою з недоторканного запасу, який повинен знаходитися поблизу місця роботи.

На місці робіт повинен зберігатися розчин питної соди для обмивання ділянок шкіри при попаданні на них кислот.

Перед нагнітанням розчинів в ґрунт ретельно перевірити надійність з'єднань магістралей і місця приєднання їх до насосів.

В процесі обробки ґрунту постійним електричним струмом повинні дотримуватися таких правил техніки безпеки.

До робіт, пов'язаних з обробкою ґрунту постійним струмом, повинні допускатися особи відповідної кваліфікації і пройшли спеціальний інструктаж.

Вся електроапаратура, джерела постійного струму і розподільний щит повинні розташовуватися в закритому приміщенні або під навісом поблизу місця робіт. При проходці глибоких виробок в їх забої повинна бути встановлена звукова або інша сигналізація для зв'язку з оператором, розташованим у розподільного щита.

Живить електромережу повинна розташовуватися на майданчику таким чином, щоб виключався випадковий її обрив в процесі роботи людей і механізмів.

мів. При цьому прокладка кабелю може бути повітряної і наземної (в дрібних траншеях, прикритих дощатими настилами і/або цеглою). У живильну електромережу обов'язково (в кожен фазу) повинні встановлюватися плавкі запобіжники типу ПН-2200.

Рубильник на розподільному щиті повинен розташовуватися під кожухом, при цьому включення його невідповідальні за це особами повинно бути виключено. Положення рубильника має сигналізуватися написами і електролампками.

Місця з'єднань електрокабелів і проводів повинні ізолюватися патрубками і з гумових шлангів і ізоляційної в'єскою.

Роботи, пов'язані з введенням в ґрунт електролітів або з відкачуванням води з катодів, повинні виконуватися не менше ніж двома робітниками в гумових чоботях і рукавичках при відключеному джерелі постійного струму.

Визначення струмового навантаження повинне проводитися електриком в присутності дублера, що має безперервну зорову і звукову зв'язок з оператором, що знаходяться у рубильника або пульта управління.

При роботах в глибоких виробках на поверхні у її гирла повинен постійно перебувати черговий для дублювання необхідних команд працюють в забої, екстреного відключення струму і надання допомоги (в разі необхідності). Крім того, близько вироблення повинен постійно перебувати підйомний механізм в робочому стані для подачі і підйому необхідних матеріалів, а також (при ураженні струмом або травмах) екстреного підйому людей на спеціальних сходах або в цєбрі.

Всі роботи по закріпленню (після включення струму) повинні виконуватися з дерев'яного настилу, розташованого в центральній частині забою.

Ділянка, на якій проводяться роботи з електрохімічного закріплення ґрунтів, включаючи навіс з електроагрегати й пересувну електростанцію (або самохідну установку), повинен мати надійне дротове огороження, що виключає випадковий прохід на захватки людей і тварин. На огорожі через 3-4 м повинні розташовуватися помітні попереджувальні щити, наприклад «Стої! Смертельно!» тощо.

У темний час доби всю ділянку робіт повинен освітлюватися прожектором або серією електроламп, що розташовуються по периметру ділянки.

При взривоелектричному способі ущільнення ґрунтів поряд з перерахованими вище повинні дотримуватися всі правила техніки безпеки, передбачені спеціальними вказівками щодо виконання буропідричних робіт (наприклад, ТП 70С).

Висновки за розділом

1. Наведені вимоги до безпеки праці при будівництві свердловини.
2. Розглянуті правила пожежної безпеки.
3. Особлива увага приділена вимогам до техніки безпеки при електрохімічному закріпленні гірських порід.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізований електрохімічний метод закріплення ґрунтів з електрообробкою постійним струмом знакозмінних імпульсів.

2. Закріплення ґрунтів електрохімічним методом зі знакозмінними імпульсами характеризується менш різко вираженою зональністю закріплення міжелектродного простору як в частині фізико-хімічних умов, хіміко-мінералогічного складу, так і фізичних фізико-механічних властивостей ґрунту.

3. В результаті введення електрообробки знакозмінними імпульсами застосовність електрохімічного методу значно розширюється.

4. Враховуючи, що при електрохімічному методі зі знакозмінними імпульсами процес закріплення ґрунту в основному обумовлюється електролізом, міграцією електролітів і супутніми їм обмінними і хімічними реакціями, при сприятливій ролі електроосмосу, для нього найбільш оптимальними режимами є:

а) Для досягнення більшої ефективності закріплення в найкоротший час процес електрообробки треба виробляти при максимальній, можливо більшій щільності струму близько 10-50 мА/см², що досягається при відстані між електродами близько 20-60 мм, при якому не відбувається короткого замикання, із зміною полярності через 1 год.

б) Слабка напруга близько 25-30 В спочатку для попередження швидкого розігрівання ґрунту, щоб уникнути порушення первинних зв'язків і сильного його набрякання, з наступним збільшенням напруги до 100 В і більш, з метою підвищення температури і, отже, прискорення процесів, реакцій і формування новоутворень цементуючих речовин і мінералів. При цьому необхідно забезпечити підвищену силу струму в межах 3-10 А для інтенсивної течії електролітичних процесів, що підтверджено цілим рядом дослідів.

в) Залежно від вживаного розчину, матеріалу електродів, типу ґрунту при згаданому вище режимі витрата електроенергії може значно коливатися і складає приблизно 10-50 квт-год на 1 цот. м свердловини, при закріпленні стінки завтовшки приблизно 20 мм.

5. а) Для забезпечення найбільш сприятливих умов закріплення як в частині швидкості, так і ефективності в сферу дії електролітичних процесів необхідно ввести матеріал електроду, зокрема, алюміній і залізо.

При вживанні алюмінієвих і залізних електродів, через електролітичне їх розчинення в кислому середовищі, в розчині з'являються тривалентні Al^{3+} і Fe^{3+} . Ці іони, маючи велику енергію обміну, заміщають в дифузних оболонках глинистих часток іони (зазвичай Ca^{2+} , Mg^{2+} і Na^{+}), що знаходяться в них. Ця заміна зменшує гідрофільність глинистих порід, знижує здатність до набрякання і їх пластичні властивості. При рН, що змінюється, утворюються гелі гідроксидів алюмінію і заліза і новоутворення мінералів, які також беруть активну участь в зміцненні ґрунту. Усе це разом узятє і створює міцні зв'язки між частками, що обумовлюють підвищену механічну міцність закріпленого ґрунту під впливом постійного струму.

б) При електрообробці знакозмінними імпульсами практично усувається зональність в міжелектродному об'ємі ґрунту і переважає лужна реакція, у зв'язку з чим як електроди може бути використаний переважно алюміній, але, враховуючи періодичну зміну лужної реакції на кислу, залізний електрод також може піддаватися корозії і брати участь в електролітичних процесах і, як метал, що менш стирається і стійкий, в лужному середовищі, може забезпечити рідкіснішу змінюваність електродів при змищенні стінок свердловин. Тому як електроди рекомендується комбінація алюмінію і заліза.

6. Розроблені рекомендації з удосконалення технології електрохімічного закріплення бурових свердловин. Обрані критерії оптимізації – мінімальні опір закріплюваного ґрунту і витрати електроенергії.

7. У роботі розрахована економічна ефективність запропонованого методу, яка показує перспективність його застосування.

8. Приведені заходи щодо охорони праці і техніки безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Акимов А.А. Основные положения по укреплению грунтов электросиликатизацией. – Ростов – Н/Д: Акад. стр-ва и архитектуры СССР. Науч.-исслед. ин-т по стр-ву, 1961. – 32 с.
2. Алехин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометиздат, 1952. – 121 с.
3. Безрук В.М. Методы укрепления грунтов в дорожном строительстве США. – М.: Стройиздат, 1961. – 87 с.
4. Блескина Н.А., Федоров Б.С. Глубинное закрепление грунтов синтетическими смолами. – М.: Стройиздат, 1989. – 147 с.
5. Будников П.П., Зворыкин А.И. // Изв. Иваново-Вознесенского политехн., ин-та. – 1924. – Т. 3, вып. 10. – С. 64-65.
6. Бондаренко В.И. Совершенствование технологии подземной разработки марганцевых руд на базе электрохимического закрепления пород. Дис... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1980. – 162 с.
7. Бондаренко В.И., Власов С.Ф., Молотюженко Б.С. Физико-химическое закрепление плавунных пород на шахтах объединения «Александрияуголь» // Уголь Украины. – 1988. – № 8. – С. 21-22.
8. Бондаренко В.И. Электрохимическое закрепление обводненных пород на шахтах Марганецкого ГОКа // Горн. журн. Изв. вузов. – 1987. – №3. – С. 1-7.
9. Бондаренко В.И., Власов С.Ф., Ланин А.Л. Электрохимическое закрепление углистых глин // Шахтн. стр-во. -1989. – №8. – С. 17-18.
10. Бондаренко Н.Ф., Гук Е.З. Электромагнитные явления в природных водах. – Д.: Гидрометиздат, 1984. – 152 с.
11. Борисова Е.И. Основы методики лабораторных исследований при искусственном укреплении грунтов. – М.: Изд-во МГУ, 1954. – 36 с.
12. Вершинин П.В., Кириленко Н.В. Действие постоянного электрического тока на водопрочность почв // Почвоведение. – 1940. – №3. – С. 192.
13. Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем: Сб. материалов 2-го Всесоюз. совещания / Отв. ред. В.И. Классен. – М.: Цветметинформация, 1971. – 316 с.
14. Воронкевич С.Д. Техническая мелиорация пород. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 340 с.
15. Гедройц К.К. Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв. – М.: Гостоптехиздат, 1955. – 210 с.
16. Гончарова Л.В. Основы искусственного улучшения грунтов. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 375 с.
17. Горбунов Б.П. Одномерная задача гидравлической и электроосмотической инъекции крепителей в водонасыщенные грунты // Материалы Всесоюз. совещания по закреплению и укреплению грунтов. – Тбилиси, 1964. – С. 32-33.
18. Горькова И.М. Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях. – М.: Стройиздат, 1975. – 150 с.

19. Гуменский Б.М. О механизме взаимодействия полимеров с глинистыми частицами // Материалы к 5-му Советанию по закреплению и уплотнению грунтов. – Новосибирск: Изд-во НПИ, 1966. – С. 25-26.

20. Евдокимова Л.А. К вопросу поверхностного взаимодействия песчаных грунтов при цементизации и силикатизации // Материалы к 6-му Всесоюз. совещанию по закреплению и уплотнению грунтов. – М.: Изд-во МГУ, 1968. – С. 21-22.

21. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. – М.: Недра, 1977. – 223 с.

22. Жинкин Г.Н., Коржуев В.Ф. Практические рекомендации по электросиликатизации грунта / Материалы 6-го Всесоюз. совещания по закреплению и уплотнению грунтов. – М., 1971. – С. 16-17.

23. Жинкин Г.Н. Электрохимическое закрепление грунтов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1966. – 172 с.

24. Жинкин Г.Н., Калганов В.Ф. Электрохимическая обработка глинистых грунтов в основаниях сооружений. – М.: Стройиздат, 1980. – 160 с.

25. Загоруйко Л.П. Исследование закрепления обводненного суглинка электрохимическим способом при проходке вертикальной выработки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1956. – 21 с.

26. Зайцева Л.Г. Интенсификация электрохимического закрепления глинистых водонасыщенных грунтов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.; НИИ оснований, 1972. – 22 с.

27. Казагранде Л. Патенты на укрепление глинистых грунтов при применении металлических электродов // *Chimichisil Journal blal.* – 1936. – р. 2772, 3946.

28. Кипко Э.Я., Полозов Ю.А. и др. Электрохимический тампонаж обводненных пористых пород // *Шахтн. стр-во.* – 1988. – № 9. – С. 9-13.

29. Классен В.И. Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. – Новочеркасск, 1975. – 265 с.

30. Классен В.И. Омагничивание водных систем. – М.: Химия, 1982. – 296 с.

31. Коржуев А.С., Титков Н.И. Некоторые вопросы теории электрохимического закрепления грунтов и перспективы его практического применения // Материалы по закреплению и уплотнению грунтов. – Киев, 1962. – С. 167-168.

32. Кострико М.Г. Новый метод химического укрепления грунтов // *Автомобильные дороги.* – 1955. – С. 12-13.

33. Котов А.И., Прехтель Л.В., Баскин Ю.А. Исследование механизма электрохимического закрепления опресненных морских илов в бухте Врангеля // *Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: Материалы 8-го Всесоюз. совещания.* – Киев: Будівельник, 1974. – С. 200-202.

34. Кравков С.П. Учебник почвоведения. – М.: Сельгосгиз, 1930. – 271 с.

35. Лаптин Н.Е. Исследование противоположной стабилизации связных электрохимическим способом: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1974. – 18 с.

36. Ломизе Г.М. О влиянии структуры грунта на электроосмос в нем // Изв. АН СССР. – Отд-ние техн. наук. – 1958. – №7. – С.61-69.

37. Лысенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов. – М.: Недра, 1980. – 272 с.

38. Марков Л.А., Парфенов А.Л., Петрашей А.Д. Улучшение свойств грунтов поверхностно-активными и структурообразующими веществами. – М.: Гидрометиздат, 1963. – 118 с.

39. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов: – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 64 с.

40. Морозов С.С., Дьяконова Н.Г. Зависимость прочности песков, закрепленных растворами карбомидных смол, от введения в них материалов рудного состава и дисперсности // Материалы к 5-му совещанию по закреплению и уплотнению грунтов. – Новосибирск: Изд-во НИИ, 1966. – С. 8-9.

41. Овчаренко Ф.Д., Перцов Н.В. Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем. – М.: Изд-во МГУ. – С. 3-5.

42. Огордников Е.Н. Влияние железистых пленок при укреплении минералов карбомидной смолой // Материалы 7-го Всесоюз. совещания по закреплению и уплотнению грунтов. – Г.Л.: Стройиздат, 1971. – 71 с.

43. Определение концентрации ядер кавитации в воде / Г.Я.Баранова, В.П.Ильин, Ю.Л.Левковский, А.В.Чалов // Акуст. журн. – 1977. – Т. 23, вып. 6. – С. 854-859.

44. Осипов Ю.Б. Магнетизм глинистых грунтов. – М.: Недра, 1978. – 200 с.

45. Певзнер М.Е., Валерьянова Л.И., Беленький П.Г. Влияние схемы расположения электродов на физико-химические процессы в песчано-глинистых породах // Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве. – Киев: Будівельник, 1974. – С. 208-210.

46. Пособие по производству работ при устройстве оснований и фундаментов (к СНиП 3.02.01-83) / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. – М.: Стройиздат, 1986. – 567 с.

47. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Атомиздат, 1971. – 162 с.

48. Правила устройства электроустановок «ПУЭ-76». – М.: Энергоиздат, 1982. – Разд. 1. – 88 с.

49. Разоренов В.Ф. Пенетрационные испытания грунтов. – М.: Стройиздат, 1968. – с. 58.

50. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. – М.: Знание, 1958. – 59 с.

51. Рекомендации по электроосушению и электрохимическому закреплению глинистых водонасыщенных грунтов. – М.: НИИ оснований, 1971. – 62 с.

52. Ржаницын Б.А. Закрепление грунтов химическим способом. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1935. – 113 с.

53. Сергеев Е.М. Инженерная геология. – М.: Изд-во МГУ 1982. – 247 с.

54. Сергеев Е.М. Теоретические основы инженерной геологии. – М.: Недра, 1985. – 260 с.
55. Слейбо У., Персоне Т. Общая химия. – М.: Мир, 1979. – 550 с.
56. Соколович В.Е. Химическое закрепление грунтов. – М.: Стройиздат, 1980. – 118 с.
57. Соколович В.Е. Электростатические силы в грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1980. – №2. – С. 24-26.
58. Соколович В.Е., Чувелев В.К., Вебер Н.Б. Уплотнение фильтрующего бетона карбомидной смолой // Бетон и железобетон. – 1971. – №4. – С. 16-17.
59. Справочник по инженерной геологии. – М.: Недра, 1981. – 328 с.
60. Стаматиу М.Н. Исследование вопроса о химическом способе укрепления горных пород и бетонной кладки. – М.: Гостоптехиздат, 1932. – 98 с.
61. Технический проект строительства шахты «Медвежьярская» комбината «Александрияуголь» МУП СССР // УкрНИИпроект, пояснительная записка. – Киев, 1977. – Т. 1, кн. 1. – 340 с.
62. Толстопятое Б.В. Химические добавки в грунт при электрохимическом закреплении // Исследование работы грунта в ж-д сооружениях. – Л.: Изд-во НИИПС, 1940. – 120 с.
63. Установка «ИОН-2» для электрохимического закрепления рыхлых водонасыщенных пород / Ю.Н. Бабец, В.И. Бондаренко, В.В. Захаров, А.Я. Яценко, Й.А. Нортенко, М.М. Косой // Металлурги горноруд. пром-сть. – 1988. – №3. – С. 67-68.
64. Френцель Я.И. Кинетическая энергия жидкостей // Собр. избр. тр. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – 447 с.
65. Чепелев В.В. Влияние конструкции анодов на эффективность закрепления глинистых грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1969. – №2. – С. 22-24.
66. Чепелев В.В. Электрохимическое закрепление грунтов с применением самоходной установки; – Л.: Изд-во воен. акад. им. Можайского, 1972. – 86 с.
67. Черкасов Н.И., Янин Х.М. Структурно-механические свойства сыпучего песка, закрепленного масляно-латексной эмульсией и поливиниловым спиртом // Материалы Всесоюз. совещания по закреплению и уплотнению грунтов. – Л.: Стройиздат, 1971. – С. 54-55.
68. Электрохимический метод закрепления неустойчивых горных пород / Н.И. Титков, А.С. Коржуев, В.Г. Смолянинова и др. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 79 с.
69. Эндель К., Гофман Е. Электрохимическое закрепление глинистых грунтов // Материалы 1-й Междунар. конф. по механике грунтов. – М.: Изд-во МГУ, 1936. – С. 43-44.
70. Бондаренко В.И. Научные основы физико-химического закрепления слабых водонасыщенных пород вокруг горных выработок. Автореф. дисс. докт. техн. наук. Днепропетровск, ДГИ, 1989.
71. Титков Н.И., Петров В.П., Неретина А.Я. Формирование минералов и структур при электрохимическом закреплении неустойчивых горных пород. – М.: Наука, 1964. – 78 с.

72. Бондаренко В.И., Власов С.Ф., Захаров В.В. Электрохимическое закрепление пород в горном деле. – Д.: Изд-во ДГУ, 1993. – 212 с.

73. Захаров В.В. Обоснования принципов управления процессом электрохимического закрепления водонасыщенных пород в подземных условиях: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Д., ДГУ, 1987. – 21 с.

74. Ященко А.Я. Исследования электрохимического закрепления в неоднородном электрическом поле. / Материалы VIII Всесоюз. науч. конф. вузов СССР с участием научно-исследовательских институтов «Комплексное исследование физических свойств горных пород и процессов». – М.: Недра, 1984. – С. 22.

75. Тампонаж обводненных горных пород. Справ. пособ. / Э.Я. Кипко, Ю.А. Полозов, О.Ю. Лушников и др. – М.: Недра, 1989. – 318 с.

76. Власов С.Ф. Обоснование и разработка технологии закрепления дисперсных пород вокруг выработок физико-химическими способами. Дис... канд. техн. наук: – Д., 1988. – 226 с.

77. Трубаков А.Е. Обоснование разработки технологии силикатно-термического закрепления плавунных пород. Дис... канд. техн. наук: – Д., 1992. – 240 с.

78. Чепелев В.В., Лаптин Н.Е. Временные технические указания по электрохимическому закреплению грунтов на объектах МО. Военное издательство Министерства обороны СССР, Москва, 1973. – 95 с.

79. Рекомендации по электроосушению и электрохимическому закреплению глинистых водонасыщенных грунтов. Издательство литературы по строительству, Москва, 1971. – 32 с.