

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

**ШЕВЧЕНКО РОМАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ**



УДК 621.35

**УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ДЛЯ  
ПОПЕРЕДЖЕННЯ І ПОДОЛАННЯ АВАРІЙ ПРИ БУРІННІ  
СВЕРДЛОВИН НА НАФТУ ТА ГАЗ**

Спеціальність 05.17.03 – технічна електрохімія

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Сахненко Микола Дмитрович,**  
Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”,  
завідувач кафедри фізичної хімії

**Офіційні опоненти:** доктор хімічних наук, професор  
**Кошель Микола Дмитрович,**  
Український державний хіміко-технологічний університет,  
м. Дніпропетровськ,  
професор кафедри технічної електрохімії

кандидат технічних наук, доцент  
**Степанова Ірина Ігорівна,**  
Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”,  
м. Харків,  
доцент кафедри загальної та неорганічної хімії

Захист відбудеться 15 листопада 2012 р. о 12<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.03 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий « 8 » жовтня 2012 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Шабанова Г.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Використання під час буріння свердловин на нафту та газ бурових розчинів, що за своєю природою є дисперсними, провокує виникнення низки електрокінетичних явищ, які відбуваються у свердловині. Крім того, утворення подвійного електричного шару на твердій поверхні гірських порід та металевій поверхні елементів компоновки бурильних труб та наявність як природних геомагнітних полів, так і електричних полів техногенного характеру, якими є телуричні струми, тощо, призводять до обставин, за яких буровий розчин знаходиться у середовищі електричного поля. Вищезазначені процеси у деяких випадках є причиною виникнення різноманітних ускладнень та аварій, притаманних технологічному процесу буріння свердловин.

Керування електрокінетичними процесами природного характеру та використання зовнішньої поляризації для управління електрохімічними процесами у свердловині є запорукою успішного попередження та подолання ускладнень та аварій, пов'язаних з негативною дією бурового розчину на гірські породи, та шляхом зменшення комерційної вартості спорудження свердловини в цілому.

Таким чином, з'ясування причин виникнення аварійних ситуацій при бурінні свердловин, що несуть електрохімічну складову, розробка шляхів управління електрокінетичними процесами у свердловині та використання електрокінетичних ефектів, що виникають за рахунок зовнішньої поляризації, для попередження та подолання ускладнень та аварій є актуальною науково-практичною задачею, яка визначає напрямок дисертаційної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі технічної електрохімії НТУ "ХПІ" в межах держбюджетних тем МОНмолодьспорту України "Дослідження закономірностей електрохімічного синтезу функціональних покриттів з прогнозованими властивостями" (ДР № 0107U000596) та "Розробка теоретичних підстав електросинтезу наноструктурних покриттів нового покоління для екологічно безпечних енерго- та ресурсозберігаючих технологій" (ДР № 0110U001244), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

**Мета і задачі дослідження.** *Мета дослідження* – обґрунтування наявності електрохімічної складової механізмів виникнення ускладнень та аварій при бурінні свердловин, розробка та удосконалення електрохімічних способів подолання сальнікоутворення та прихоплення бурильних труб.

Для досягнення означеної мети поставлені наступні задачі:

- встановити механізм аварійних ситуацій внаслідок прихоплення бурильних труб в межах гіпотези про виникнення потенціалів протікання при фільтрації дисперсного бурового розчину у проникних поруватих породах та електрофоретичного утворення сальників з глинистої фази бурового розчину;

- обґрунтувати засоби управління перебігом електрокінетичних процесів за рахунок зміни компонентного та концентраційного складу бурового розчину;
- розробити технологію подолання сальнікоутворення та прихоплення бурильного інструменту за рахунок використання зовнішньої поляризації;
- встановити вплив компонентного та концентраційного складу бурового розчину на перебіг електрокінетичних процесів, що виникають при зовнішній поляризації електричним струмом;
- провести дослідно-промислові випробування способів керування електрокінетичними процесами для зменшення ускладнень та аварій при бурінні свердловин на нафту та газ.

*Об'єкт дослідження* – електрокінетичні процеси, що перебігають у свердловині без/при накладанні зовнішньої поляризації.

*Предмет дослідження* – закономірності електрокінетичних процесів формування у дисперсних водних середовищах новоутворень на поверхні бурильних труб та їх розчинення під дією зовнішньої поляризації.

**Методи дослідження.** При виконанні дисертаційної роботи використано комплекс сучасних фізичних та фізико-хімічних методів з використанням спеціально розроблених установок для моделювання поведінки матеріалу бурильних труб у середовищі бурових розчинів при зовнішній поляризації. Компонентний та концентраційний склад модельних і реальних бурових розчинів встановлювали хіміко-аналітичними методами. Закономірності електрокінетичних процесів визначали в проточних комірках, облаштованих стандартними та спеціально виготовленими індикаторними електродами, з поруватими природними та штучними діафрагмами. Кінетичні параметри парціальних електродних реакцій визначали методом лінійної та циклічної вольтамперометрії. Процеси адсорбції на поверхні зразків матеріалу бурильних труб визначали методами імпедансної спектроскопії і поляризаційного опору. Оцінку електрокінетичних процесів здійснювали методами регресійного аналізу і теорії випадкових процесів.

Лабораторні дослідження проводили на базі кафедр технічної електрохімії та фізичної хімії НТУ "ХП".

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

- експериментально встановлено, що при фільтрації бурового розчину через проникні гірські породи виникають потенціали протікання, за рахунок яких існує можливість зменшення швидкості фільтрації дисперсного середовища бурових розчинів до 30%. Наявність електричних струмів природного та техногенного характеру у свердловині, що буриться, є однією з причин електрофоретичного утворення на металевій поверхні бурильних труб кірки з диспергованих частинок бурового розчину та вибуреної породи;

- встановлено, що введення у бурові розчини реагентів різного функціонального призначення з низькими діелектричною проникністю і питомою електропровідністю (нафти, спирти та реагенти на основі поліетиленгліколю - ПЕГ 400, ІГС, Gem Gr), а також підтримання рН середовища вище 12 зменшують вірогідність утворення сальників на металевій поверхні труб; визначено концентраційні інтервали вмісту реагентів, за яких імовірність новоутворень буде мінімальною за рахунок зміни фізико-хімічних параметрів бурових розчинів та  $\xi$  – потенціалу диспергованих частинок;
- доведено, що поверхнева провідність диспергованих частинок бентоніту у водному середовищі призводить до зростання загальної електропровідності бурових розчинів на 30%, що обумовлює необхідність її врахування при обґрунтуванні режимів поляризації;
- визначено, що використання зовнішньої поляризації дозволяє за рахунок керування електрокінетичними процесами зменшити на 25 – 45% зусилля, необхідні для відриву металевої поверхні від глинистої маси, внаслідок зменшення майже на 50% коефіцієнту тертя між металевою поверхнею та фільтраційною кіркою і реологічних параметрів бурового розчину, а саме статичного напруження зсуву у зоні поляризації на 90%;
- запропоновано при поляризації місця прихоплення використовувати обов'язковий пересувний електрод, що дозволяє зменшити втрати електричного струму.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у визначенні електрохімічних складових аварій при бурінні свердловин на нафту та газ. Рекомендовано обробку бурового розчину, при якій вірогідність сальникоутворення буде мінімальною, а ефект електрокінетичного гальмування за рахунок виникнення потенціалів протікання зменшуватиме фільтрацію бурового розчину. Запропонований механізм управління електрокінетичними процесами у свердловині для підтримки стабільного поперечного перерізу свердловини та попередження можливих ускладнень. Розроблено технологію, яка у випадку виникнення ускладнень та аварій, спричинених значним сальникоутворенням та прихопленням бурильного інструменту, дозволяє за рахунок використання зовнішньої поляризації звільнити прихоплений інструмент та очистити поверхню бурильних труб.

Ефективність запропонованих методик дослідження схильності бурового розчину до сальникоутворення, встановлення впливу хімічних реагентів, що використовуються при бурінні свердловин, на величину потенціалу протікання та швидкість фільтрації дисперсного середовища бурових розчинів доведена позитивними результатами лабораторно-промислових випробувань у УкрНДІ-газ (м. Харків). Зменшення адгезійної взаємодії поверхні бурильних труб та глинистих відкладень за рахунок зовнішньої поляризації підтверджено випро-

буваннями у Шебелинському відділенні бурових робіт БУ "Укрбургаз" (м. Красноград).

Результати досліджень впроваджені у навчальному процесі в НТУ "ХП" при викладанні дисциплін "Технічна електрохімія" і "Хімічний опір матеріалів та захист від корозії" спеціальності 051301 – "Технічна електрохімія" та "Колоїдна хімія" і "Поверхневі явища та дисперсні системи".

**Особистий внесок здобувача.** Положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них: обґрунтування планів і програм експериментів по встановленню електрохімічної складової механізмів виникнення аварійних ситуацій при бурінні свердловин на нафту та газ, експериментальні дослідження впливу компонентного та концентраційного складу бурового розчину на перебіг електрокінетичних процесів, що виникають при зовнішній поляризації, виконання досліджень впливу зовнішньої поляризації на технологічні властивості бурових розчинів, розробка та удосконалення технології застосування зовнішньої поляризації для попередження та подолання ускладнень і аварій та оцінка її ефективності, обробка та узагальнення отриманих результатів, безпосередня участь у впровадженні результатів. Постановка задач досліджень, аналіз і обговорення отриманих результатів виконувалися здобувачем спільно з науковим керівником.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати роботи доповідались та обговорювались на: VI конференції молодих спеціалістів Дочірньої компанії "Укргазвидобування" (м. Чорноморськ, 2009 р.); II – III Всеукраїнських науково-технічних конференціях з міжнародною участю "Молодіжний електрохімічний форум" (м. Харків, 2009–2010 рр.); XVIII Українській конференції з неорганічної хімії за участю закордонних вчених (м. Харків, 2011 р.); Відкритій науково-технічній конференції молодих науковців і спеціалістів "Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи" (м. Львів, 2011 р.); IV Міжнародній конференції молодих вчених «Перспективи розвитку нафтової галузі» (м. Трускавець, м. Кросно, Польща, 2011 р.); XI - XII міжнародних науково-практичних конференціях "Інтегровані технології та енергозбереження" (м. Харків, 2011, 2012 рр.); II Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції "Сучасні технології в промисловому виробництві" (м. Суми, 2012 р.); IV Всеукраїнській конференції студентів та аспірантів "Хімічні Каразінські читання" (м. Харків, 2012 р.); XX Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2012 р.); Міжнародній конференції «Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів» (м. Львів, 2012).

**Публікації.** Основний зміст дисертації відображено у 14 наукових публікаціях, з них 7 статей в наукових фахових виданнях України.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 164 сторінок; з них 77 рисунків по тексту; 8 таблиць по тексту; список використаних джерел з 135 найменувань на 12 сторінках, 4 додатки на 7 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність і доцільність дисертаційної роботи, сформульовано мету наукового дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, виділені наукова новизна та практична значущість отриманих результатів, представлені відомості про особистий внесок здобувача, а також апробацію результатів роботи.

**Перший розділ** присвячено системному аналізу науково-технічної інформації, щодо електрохімічної природи виникнення ускладнень та аварій при бурінні свердловин на нафту та газ. Проаналізовано електрокінетичні процеси, що перебігають у свердловині без/при прикладенні зовнішньої поляризації. Простежено сучасний стан питання щодо проблем усунення вищезгаданих аварійних ситуацій з використанням зовнішньої поляризації. Встановлено, що задачі подолання аварійних ситуацій, які виникають під час буріння свердловин на нафту та газ в певній мірі залежать від перебігу електрокінетичних процесів у свердловині.

На підставі систематизованого аналізу стану вирішення задачі подолання аварійних ситуацій, що виникають під час буріння свердловин, обґрунтовано перспективні можливості її вирішення та сформульовано задачі дослідження.

У **другому розділі** детально описано використані матеріали, модельні середовища та схеми розроблених установок для конкретних умов досліджень; обґрунтовано вибір методик проведення експериментів із зазначенням застосованої технічної апаратури та алгоритми обробки отриманих даних. Як модельний матеріал досліджень використовували сталь 36Г2С матеріалу бурильних труб за ГОСТ 7909-56, для встановлення дійсного значення електропровідності гетерогенних середовищ використовували електроди з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. Як модельні середовища використовували колоїдні розчини бентонітової та палигорскитової глини за ТУ 39-044-74. Реагенти-поліпшувачі технологічних характеристик бурових розчинів у залежності від країни виробника відповідали ДСТУ, ТУ та стандартам АНІ (Американський нафтовий інститут). Для натурних випробувань відбирали бурові розчини зі свердловин, що знаходяться у бурінні на відповідних ГКР (газоконденсатних родовищах) на території України. Розчини для дослідження потенціалів протікання та встановлення

констант комірки при вимірюваннях електропровідності готували з сертифікованих реактивів марки “хч” та “чда” на дистильованій воді. Приготування та переміщування дисперсних розчинів проводили на міксерній мішалці фірми Baroid (Universal Electric Co) модель YY1W033. Для приготування істинних розчинів використовували магнітну мішалку марки ММ-5.

Поляризаційні вимірювання виконували на потенціостатах ПИ-50-1 та ІРС–Pro М. Імпедансні виміри та встановлення дійсних значень електропровідності розчинів проводили за допомогою моста змінного струму Р-5083. Зовнішню поляризацію проводили з використанням джерела постійного струму Б5-44. Виникнення потенціалу течії фіксували мультиметром марки В7-35. Фільтраційні кірки отримували на фільтр-пресі фірми OFITE 35FVN 2600 С. Зміну реологічних параметрів досліджуваних розчинів, а саме статичного напруження зсуву під дією електричного струму вимірювали пристосованим до умов дослідження приладом СНС 2. Для встановлення зміни коефіцієнту тертя фільтраційних глинистих кірок при зовнішній поляризації використовували прилад КТК 1.

У **третьому розділі** наведено результати експериментальних досліджень впливу компонентного та концентраційного складу технологічних розчинів, що використовуються при бурінні, на перебіг електрокінетичних процесів у свердловині. Теоретично обґрунтовано та експериментально доведено виникнення ефекту електрокінетичного гальмування (ЕКГ) швидкості фільтрації при протіканні рідин через капілярні системи за рахунок виникнення потенціалів протікання. Встановлено вірогідність зменшення швидкості фільтрації на рівні 30 – 40 % завдяки ефекту ЕКГ. Обґрунтовано позитивний внесок ефекту ЕКГ при бурінні та його шкідливу дію при намаганнях інтенсифікації вилучення вуглеводнів з нафтогазових колекторів з використанням витісняючих реагентів.

Визначено потенціал протікання у залежності від різниці гідростатичного тиску обабіч поруваної штучної діафрагми та природних зразків кернового матеріалу гірських порід при фільтрації модельних дисперсних середовищ бурового розчину різноманітного компонентного та концентраційного складу. Встановлено екстремальний характер залежності потенціалу протікання та швидкості фільтрації від рН середовища (рис. 1).

Досліджено вплив реагентів, що використовуються при бурінні свердловин, на потенціал протікання та надано рекомендації щодо обробки бурового розчину відповідними хімічними реагентами з метою зменшення відфільтровування бурового розчину у поруватий простір проникних гірських порід та, відповідно, зменшення товщини фільтраційних кірок для підтримання постійного поперечного перерізу свердловини.



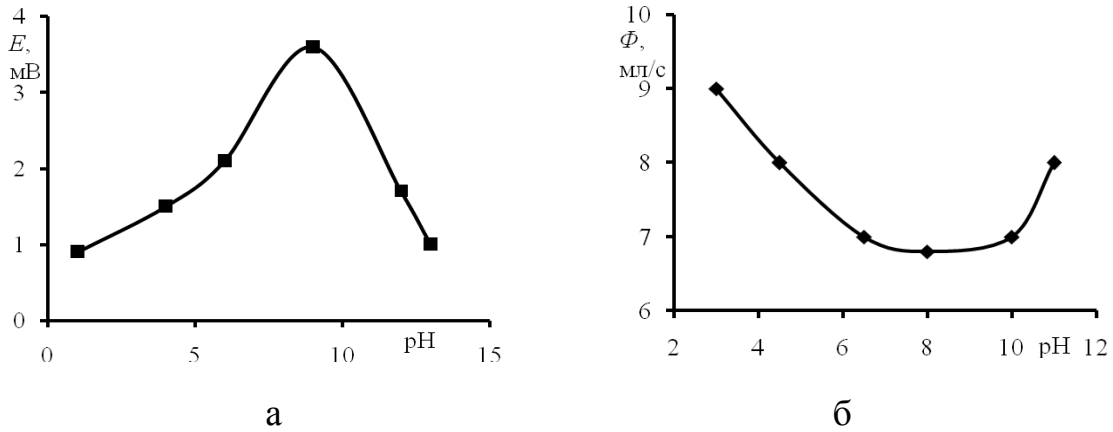


Рис. 1 Залежність потенціалу протікання (а) та швидкості фільтрації (б) від рН розчину.

Встановлено електрофоретичний механізм утворення сальників з диспергованої фази бурового розчину в залежності від концентраційного та компонентного складу бурового розчину (рис. 2).

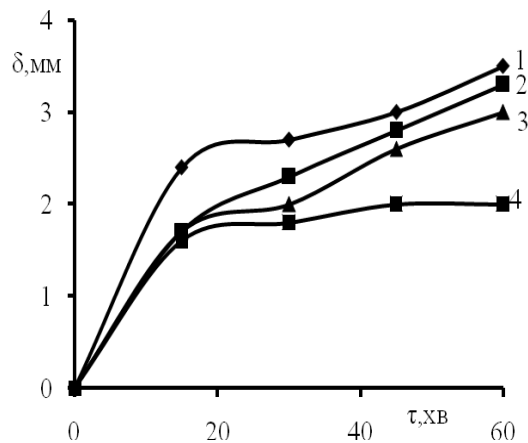
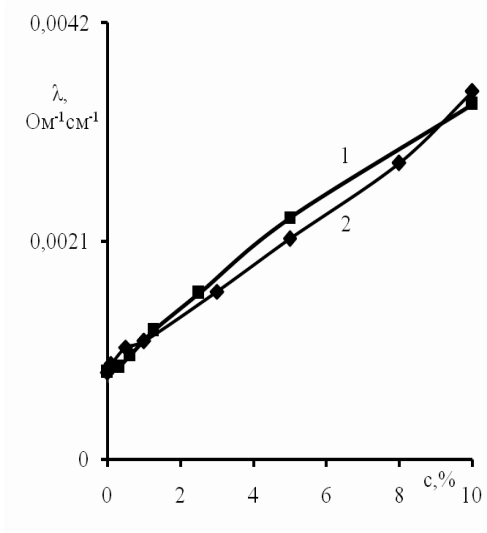


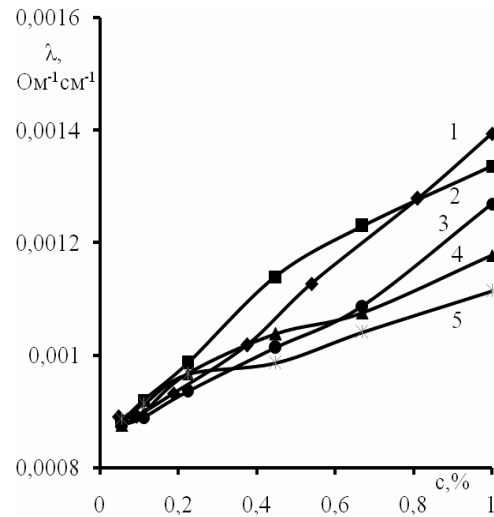
Рис. 2 Хронограми товщини утворення глинистої кірки від густини розчину бентоніту (1- 1,06 г/см<sup>3</sup>, 2 – 1,05 г/см<sup>3</sup>, 3 – 1,04 г/см<sup>3</sup>, 4 – 1,03 г/см<sup>3</sup>)

Доведено вплив рН середовища на кінетику утворення сальників за електрофоретичним механізмом і визначено закономірності електрофоретичних процесів утворення сальників на металевій поверхні у реальних бурових розчинах та їх руйнування за рахунок зовнішньої поляризації.

Встановлено, що використання як диспергованої фази бурових розчинів монтморилонітових глин, полімерних реагентів та інших структуроутворювачів та реагентів-поліпшувачів з розвиненою поверхнею пов'язане з виникненням поверхневої електропровідності, яка є наслідком підвищеної електропровідності подвійного електричного шару. Саме цим зумовлена симбатна зміна питомої електропровідності дисперсних розчинів при збільшенні вмісту дисперсної фази (рис.3).



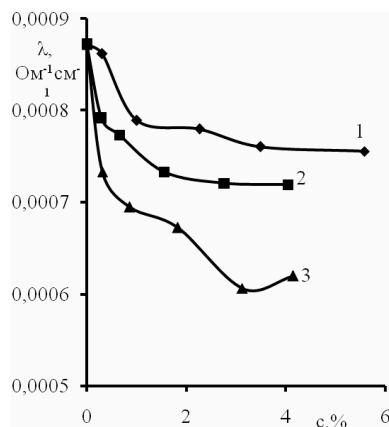
а



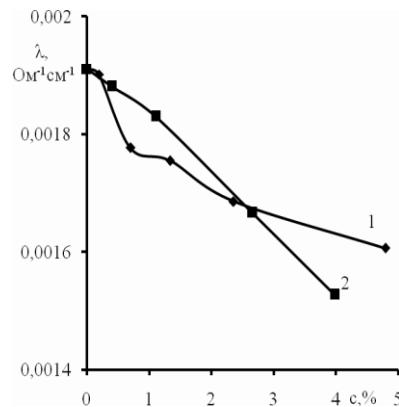
б

Рис. 3 Залежність питомої електропровідності від концентрації палигорскітової (1) і бентонітової (2) глин (а) та концентрації біополімерів: Duo-vis (1); Bioflow (2); Bio-vis (3); Flo-vis (4); Barazan (5) (б).

Цілком істотно, що при введенні до складу бурильних розчинів хімічних реагентів з низькою електропровідністю, що використовуються при бурінні свердловин, відзначається зменшення загальної електропровідності дисперсних розчинів (рис. 4).



а



б

Рис. 4 Залежність питомої електропровідності розчинів від концентрації поліетиленгліколів Gem Gr (1); ПГС (2) і ПЕГ 400 (3) на дистильованій воді (а) та 5% розчині бентоніту (б) ПЕГ 400 (1), Gem Gr (2).

Наведені факти свідчать, що за доцільності використання електрокінетичних явищ (електрофорез і електроосмос), що виникають під дією зовнішньої поляризації, для попередження та подолання аварійних ситуацій при бурінні свердловин змінювати маршрут і характер перебігу цих процесів можна за ра-

хунок внеску поверхневої електропровідності. Саме цей чинник є параметром, який доцільно застосовувати для керування кінетикою процесів.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень впливу зовнішньої поляризації на технологічні параметри бурового розчину.

Дослідження проведено на моделі бурильних труб з варійованим співвідношенням геометричних розмірів, для формалізації опису якого використано параметр  $k=l/d$ , де  $l$  – довжина труби, а  $d$  – її діаметр. На лабораторній моделі бурильної труби з  $k = 10$  попередньо електрофоретично отримували сальник, який потім руйнували за рахунок зовнішньої поляризації. Досліджено ступінь руйнування сальнику в залежності від параметрів поляризації (рис.5) та складу реальних бурових розчинів.

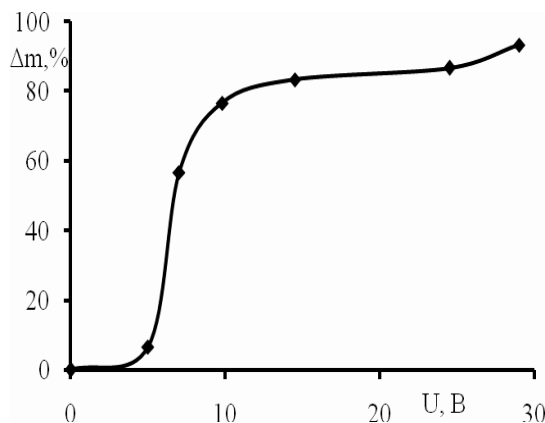


Рис.5 Зменшення маси сальнику  $\Delta m$  (%) в залежності від напруги поляризації.

Встановлено, що накладання електричного струму призводить також і до зменшення коефіцієнту тертя між фільтраційними кірками, отриманими з модельних і реальних середовищ, та металевою поверхнею індентора, що моделює бурильні труби, а значення коефіцієнту тертя фільтраційних кірок (КТК) залежить від природи модельних середовищ та параметрів електричного струму (рис. 6). Доведено, що при поляризації в місці контакту металевого індентора та глинистої фільтраційної кірки спостерігаються як електрофоретичні, так і електроосмотичні процеси, про що свідчить підсихання поверхні фільтраційної кірки у прианодному шарі через його зневоднення. За рахунок електроосмотичних процесів відбувається надходження дисперсного середовища бурового розчину до металевої поверхні індентора, що зменшує адгезійну взаємодію металевої поверхні та твердих частинок фільтраційної кірки.

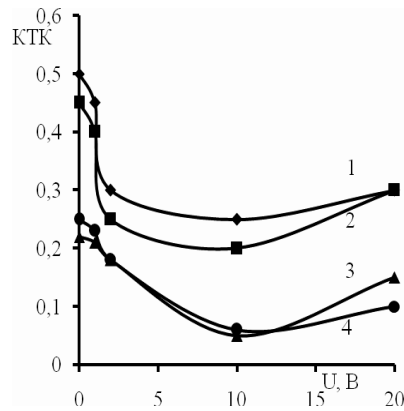


Рис. 6 Залежність коефіцієнту тертя фільтраційних кірок, отриманих з бурових розчинів зі свердловин № 152 Гадяцького ГКР (1), №125 Куличівського ГКР (2), № 112 Березівського ГКР (3), № 121 Березівського ГКР (4) від напруги поляризації.

Аналогічним чином доведено зменшення реологічних параметрів розчину, які регламентуються нормативами галузі, а саме статичного напруження зсуву (СНЗ) при прикладенні електричного струму (рис. 7). В цьому випадку внаслідок електроосмотичного надходження дисперсного середовища розчину відбувається розрідження прикатодного простору навколо металевого бобу приладу СНС 2, а за рахунок електрофорезу виникає рух диспергованих частинок до аноду, яким є металевий стакан вищезазначеного приладу.

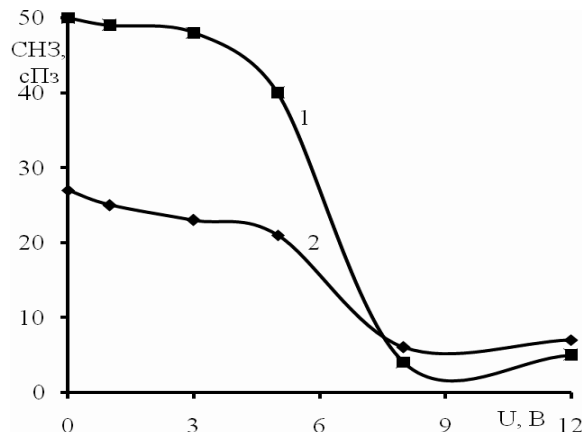


Рис. 7 Залежність зміни статичного напруження зсуву бурових розчинів зі свердловин Березівського ГКР №112 (1), №121 (2) від напруги поляризації.

Встановлені закономірності склали підґрунтя для визначення природи і кількісного рівня чинників, за допомогою яких можна керувати перебігом електрокінетичних процесів при накладанні зовнішньої поляризації на електрохіміч-

ну систему бурильні труби – буровий розчин з метою попередження сальнікоутворення або нівелювання імовірності новоутворень на робочих поверхнях бурильних та обсадних труб.

**П'ятий розділ** присвячено розробці технології попередження та подолання ускладнень і аварій за рахунок зовнішньої поляризації металеві поверхні бурильних та обсадних труб.

Встановлено, що застосування зовнішньої поляризації дозволяє зменшити зусилля, необхідні для зрушення моделі бурильної труби у глинистій суспензії з вмістом бентоніту понад 20% (рис. 8).

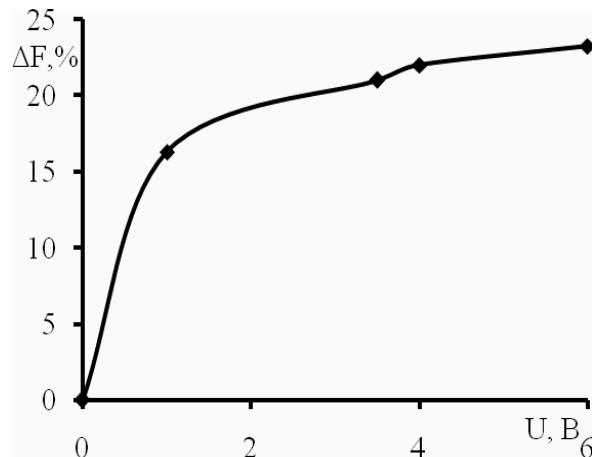


Рис. 8 Динаміка зменшення зусиль  $\Delta F$ , необхідних для витягування моделі бурильної труби із глинистої суспензії з 20%-вим вмістом бентоніту від напруги поляризації.

Позитивний ефект використання поляризації пояснюється тим, що при накладенні зовнішнього електричного струму в капілярній структурі, утвореній частинками бентоніту, в початковий момент часу спостерігається електроосмотичний переносу розчинника, як більш рухливої субстанції, оскільки глинисту масу можна розглядати у виді поруватої діафрагми, що знаходиться у середовищі електричного поля. Завдяки електроосмосу відбувається надходження незв'язаної води до одного з електродів, зокрема при підключенні негативного полюсу джерела постійного струму до моделі труби вода буде рухатись саме до катоду. Внаслідок цього відбувається розрідження прикатодного шару глинистої маси, яка набуває властивостей розрідженої суспензії. При подальшій поляризації значущим стає внесок електрофоретичних явищ, оскільки завдяки негативному заряду частинок глини відбувається їх переміщення і кількість у прикатодному просторі зменшується, в результаті чого модель бурильної труби можна розглядати як занурену у водне середовище. Підвищення параметрів поляризації до межі протікання електролізу призводить до виділення на катоді молекулярного водню, внаслідок чого відбувається газонаповнення приелектродного шару, що також сприяє зменшенню необхідних для переміщення моде-

лі бурильних труб зусиль. Слід зазначити, що внаслідок неоднорідності металеві поверхні бурильних труб, глинистої кірки і складу технологічних розчинів, а також нееквіпотенціальності та неоднорідності розподілу струму по металевій поверхні, у будь-який проміжок часу при поляризації на різних ділянках зони прихоплення можлива одночасна реалізація кожного з вищеперелічених електрохімічних процесів.

Для зменшення втрат електричного струму при локальній поляризації місця прихоплення бурильних труб запропоновано методологію та відпрацьовано технологію застосування пересувного електроду. Дослідження, проведені з використанням пересувного електроду на моделі бурильної труби з  $k = 10$ , довели доцільність його використання (рис. 9), а на моделі з  $k = 100$  (рис. 10) – можливість локалізації як електрофоретичного шляху утворення глинистих відкладень на металевій поверхні, так і їх руйнування.

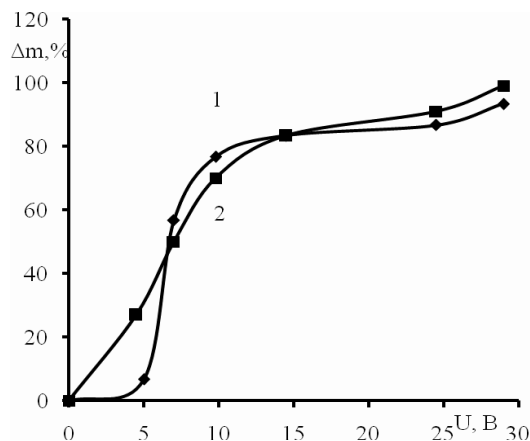


Рис. 9 Динаміка зменшення маси сальнику (%) в залежності від напруги поляризації у 5% розчині бентоніту моделі бурильних труб (1) та з використанням пересувного електроду (2).



Рис. 10 Локалізація ділянок поляризації бурильних труб з варійованим співвідношенням геометричних розмірів і перебігу електрокінетичних процесів за рахунок використання пересувного електроду.

За результатами статистичної обробки результатів контролю розподілу товщини електрофоретичних відкладень на поверхні труби запропоновано математичну модель для опису  $\delta(x)$ , а отже і сили струму, як функцію відстані від точки контакту пересувного електроду  $\delta(x,t)$ . Якщо стабілізувати склад розчину і дисперсної фази ( $\mu_x, \mu_s$ ), а також електричні параметри процесу ( $U, I$ ), температуру  $T$  і тиск рідини  $P$ , електричний опір складових ланцюга – провідників першого  $R_m$  та другого роду  $R_{el}$ , товщина сальнику буде залежати від часу електролізу та відстані до точки локалізації струмовідводу.

$$\delta(x) \approx \delta(U, I, \mu_x, \mu_s, T, P, R_m, R_{el}, x, \dots, t), \quad (1)$$

За однакового і сталого часу електролізу товщина утвореного/зруйнованого сальнику є однопараметровою функцією  $\delta(x)$ . Для урахування експериментальних даних, одержаних нами за різних значень часу електролізу при формуванні та руйнуванні електрофоретичних глинистих плівок, для опису розподілу  $\delta(x)$  відносно центру координатної мережі при  $x=0$ , використано безрозмірну змінну  $\lambda(x)=\delta(x)/\delta_s$ , що являє собою відношення поточного значення товщини кірки  $\delta(x)$  до її максимального значення  $\delta_s$  у точці контакту струмовідводу з електродом. Встановлено, що за таких умов функція  $\lambda(x)$  має вигляд

$$\lambda(x)=a \exp\{-x^2/b\}, \quad (2)$$

де  $a$  і  $b$  – параметри розподілу. Означена форма залежності  $\lambda(x)$  за фізичним сенсом тотожна до функції густини розподілу вірогідності, притаманної нормальному (гаусовому) розподілу випадкової величини.

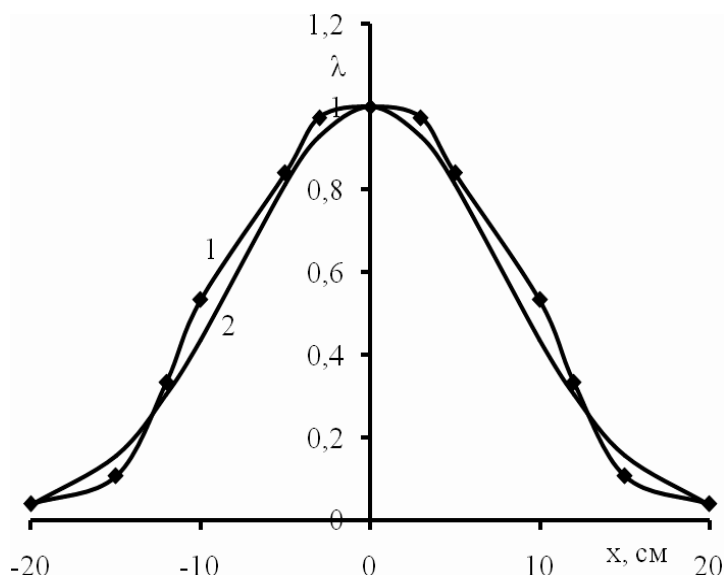


Рис. 11 Залежність розподілу товщини утвореного сальнику від відстані до місця струмопідводу: 1 – експериментальна, 2- розрахована за формулою (2) ( $a = 1$ ,  $b = 11$ )

Таким чином, на основі проведених експериментальних досліджень запропоновано технологію подолання прихоплення бурильного інструменту, що базується на зовнішній поляризації місця прихоплення з/без використання пересувного електроду, при якій прихоплені труби або пересувний електрод поляризують катодно, а роль аноду відіграють або обсадні труби, що перекривають вищепробурені інтервали гірських порід, або електрод, розміщений на гирлі свердловини.

У **додатках** наведено акти випробування в УкрНДГаз запропонованих методик встановлення схильності бурового розчину до різноманітних ускладнень та аварій, що виникають при його використанні, та способів обробки бурового розчину для попередження таких ускладнень і аварій, а також випробування запропонованої технології подолання аварійних ситуацій з використанням зовнішньої поляризації у Шебелинському відділенні бурових робіт БУ «Укрбургаз» та впровадження в навчальний процес НТУ «ХП» при підготовці фахівців за напрямом «Хімічні технології».

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі теоретичних та експериментальних досліджень з урахуванням гіпотези про виникнення потенціалів протікання при фільтрації дисперсного бурового розчину у проникних поруватих породах та електрофоретичного утворення сальників з глинистої породи вирішено науково-практичну задачу попередження та подолання ускладнень і аварій під час буріння свердловин шляхом управління електрокінетичними процесами. Основні висновки дисертації полягають у наступному:

1. Встановлено, що механізм таких поширених причин аварійних ситуацій при бурінні свердловин на нафту та газ, як прихоплення бурильних труб, є наслідком фільтрації бурового розчину через проникні гірські породи, що зумовлює утворення потенціалів протікання. При цьому наявність електричних струмів природного та техногенного характеру у свердловині є однією з причин електрофоретичного утворення на поверхні бурильних труб кірки з диспергованих частинок бурового розчину та вибуреної породи. Означені обставини призводять до зменшення поперечного перерізу свердловини та прямого контакту металеві поверхні бурильних труб і стінок свердловини.

2. Доведено, що введення у бурові розчини реагентів різного функціонального призначення, які використовуються при бурінні свердловин на нафту і газ та мають низькі значення діелектричної проникності та питомої електропровідності, зменшують вірогідність утворення сальників на металевій поверхні труб. Встановлено концентраційні інтервали використання реагентів, а саме нафти до 10 %, спиртів та реагентів на основі поліетиленгліколю (ПЕГ 400, ІГС, Gem Gr) 1 – 4%, а також необхідність підтримання рН середовища вищим 12, за яких імовірність виникнення глинистих новоутворень на металевій поверхні



буде мінімальною за рахунок зміни фізико-хімічних параметрів бурових розчинів та  $\xi$  – потенціалу диспергованих частинок.

3. Визначено, що використання зовнішньої поляризації дозволяє за рахунок керування електрокінетичними процесами зменшити на 25 – 45% зусилля, необхідні для відриву металевої поверхні з глинистої маси, внаслідок зменшення майже на 50% коефіцієнту тертя між металевою поверхнею та фільтраційною кіркою і реологічних показників бурового розчину, а саме статичного напруження зсуву у зоні поляризації на 90%.

4. Запропоновано при поляризації місця прихоплення труби використовувати обважнений пересувний електрод, що дозволяє локалізувати електрокінетичні процеси та зменшити втрати електричного струму.

5. Встановлено, що наявність у буровому розчині органічної складової не є завадою для успішного подолання ускладнень за рахунок зовнішньої поляризації, тому запропоновану технологію можна рекомендувати і при/після закачування нафтових ванн у зону прихоплення. Наявність солей у дисперсіях призводить до зменшення товщини ПЕШ і  $\xi$  – потенціалу, а разом із тим до зменшення ефективності використання явищ електрофорезу та електроосмосу для подолання аварійних ситуацій.

6. Позитивні результати дослідно-промислових випробувань методик оцінки схильності бурових розчинів до виникнення аварійних ситуацій, запропонованих методик обробки бурового розчину у (УкрНДГазі, м. Харків) і технології подолання прихоплень за рахунок використання зовнішньої поляризації (Шебелинське відділення бурових робіт БУ "Укрбургаз", м. Красноград) довели технічну й економічну доцільність розробленої технології. Результати експериментальних досліджень впроваджено в навчальний процес НТУ «ХПІ» при підготовці фахівців за напрямом «Хімічні технології».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шевченко Р.О. Електрохімічний механізм виникнення ускладнень при бурінні свердловин на нафту та газ / Шевченко Р.О., Сахненко М.Д. // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2009. – № 46. – С. 14–17.

*Здобувачем запропоновано механізм електрофоретичного руху диспергованих частинок бурового розчину у середовищі електричного поля.*

2. Шевченко Р.О. Роль електрокінетичних явищ при виникненні ускладнень та аварій під час буріння нафтогазових свердловин / Сахненко М.Д., Шевченко Р.О // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2010. – № 30. – С. 195–198.

*Здобувачем експериментально досліджено електрофоретичний механізм виникнення сальників на бурильних трубах.*

3. Шевченко Р.О. Вплив електрокінетичних процесів на імовірність виникнення аварій під час буріння свердловин на нафту та газ / Буняк Б.Т., Сахненко М.Д., Шевченко Р.О. // Нафтова і газова промисловість. – Київ: НАК "Нафтогаз", 2011. – №1. – С. 21–23.

*Здобувачем відпрацьована методика попередження прихоплень бурильного інструменту за рахунок управління електрокінетичними процесами у свердловині.*

4. Шевченко Р.О. Електрокінетичні явища при бурінні та експлуатації нафтогазових свердловин / Сахненко М.Д., Шевченко Р.О. // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – № 3. – С. 51-53.

*Здобувачем встановлена вірогідність зменшення швидкості фільтрації у проникних та поруватих гірських породах за рахунок ефекту електрокінетичного гальмування.*

5. Шевченко Р.О. Виникнення потенціалів течії при бурінні свердловин на нафту та газ / Сахненко М.Д., Шевченко Р.О. // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск: ГВУЗ УГХТУ, 2011. – №4. – С. 169-171.

*Здобувачем експериментально досліджено виникнення потенціалів протікання при фільтрації зразків фільтрату бурового розчину через поруваті діафрагми, що моделюють гірські породи.*

6. Шевченко Р.О. Метод подолання прихоплення бурильних труб за рахунок зовнішньої поляризації / Сахненко М.Д., Ведь М.В., Шевченко Р.О. // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ "ХПІ", 2012. – № 3. – С. 107-109.

*Здобувачем відпрацьована методика попередження сальнікоутворення та подолання прихоплень бурильного інструменту за рахунок використання зовнішньої поляризації.*

7. Шевченко Р.О. Вплив електрофоретичних явищ на корозійну тривкість металів / Сахненко М.Д., Шевченко Р.О., Проскурін М.М., Ведь М.В., Богоявленська О.В., Ярошок Т.П. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – Львів: ФМІ, 2012.– Т.2. – Випуск № 9. – С.415–418.

*Здобувачем експериментально встановлено можливість підвищення корозійної тривкості матеріалів за рахунок електрофоретичних явищ.*

8. Шевченко Р.О. Застосування електрохімічних принципів при подоланні аварій в бурінні свердловин / Сахненко М.Д., Шевченко Р.О. / Тези доповідей науково-технічної конференції "Молодіжний електрохімічний форум", 22-25 вересня 2009 р. – Харків: НТУ "ХПІ", 2009. – С.85.

*Здобувачем обґрунтовано імовірність утворення сальників на бурильних трубах за рахунок перебігу електрокінетичних процесів, зокрема електрофорезу, у свердловині.*

9. Шевченко Р.О. Електрохімічна модель явища прихоплення бурильних труб під час буріння нафтогазових свердловин / Сахненко М.Д., Шевченко Р.О. / Тези доповідей науково-технічної конференції "Молодіжний електрохімічний форум", 21-24 вересня 2010 р. – Харків: НТУ "ХП", 2010. – С.102.

*Здобувачем запропоновано модель виникнення прихоплень бурильного інструменту унаслідок перебігу електрокінетичних процесів у свердловині.*

10. Шевченко Р.О. Електрокінетичні явища при бурінні свердловин на нафту та газ / Сахненко М.Д., Шевченко Р.О. / Тези доповідей XVIII Української конференції з неорганічної хімії за участю закордонних учених в рамках Міжнародного року хімії ООН, 27 червня – 1 липня 2011 р. – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2011. — С. 54.

*Здобувачем експериментально досліджено можливість зменшення аварійних ситуацій за рахунок управління електрокінетичними процесами при бурінні свердловин на нафту та газ.*

11. Шевченко Р.О. Оцінка впливу електрокінетичних явищ на стан бурового обладнання нафтогазових свердловин / Сахненко М.Д., Шевченко Р.О., Любимов Д.І. / XXII Відкрита науково-технічна конференція молодих науковців і спеціалістів. Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи. 17-19 жовтня 2011. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2011. – С. 86-88.

*Здобувачем обґрунтовано вплив компонентного та концентраційного складу бурового розчину на можливість виникнення ускладнень та аварій під час буріння свердловин.*

12. Шевченко Р.О. Фізико-хімічні засади підвищення екологічної безпеки технологічного обладнання / Сахненко М.Д., Шевченко Р.О., Любимов Д.І., Шепеленко О.С. / Тези доповідей. Сучасні технології в промисловому виробництві. Матеріали II Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції. 17-20 квітня 2012 р. – Суми: СумДУ, 2012. – С.113-114.

*Здобувачем запропоновано альтернативний метод підвищення екологічної безпеки буріння свердловин на нафту та газ, що базується на використанні електрокінетичних процесів.*

13. Шевченко Р.О. Вплив поверхневої провідності на загальну електропровідність бурових розчинів / Сахненко М.Д., Ведь М.В., Шевченко Р.О., Любимов Д.І. / Четверта Всеукраїнська конференція студентів та аспірантів "Хімічні Каразін-

ські читання – 2012": тези доповідей. Харків, 23-26 квітня 2012 р. – Харків: ХНУ ім.В.Н. Каразіна, 2012. – С. 293-294.

*Здобувачем експериментально досліджено вплив поверхневої провідності на загальну електропровідність бурових розчинів.*

14. Шевченко Р.О. Альтернативні методи подолання аварійних ситуацій при бурінні свердловин на нафту та газ / Сахненко М.Д., Ведь М.В., Любимов Д.І., Шевченко Р.О. / XX Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2012): тези доповідей. Харків, 15-16 травня 2012 р. – Харків: НТУ ХПІ, 2012. – С. 267.

*Здобувачем запропоновано технологію зменшення втрат електричного струму при зовнішній поляризації місця прихоплення.*

## АНОТАЦІЇ

**Шевченко Р.О. Управління електрокінетичними процесами для попередження і подолання аварій при бурінні свердловин на нафту та газ. На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.03 – технічна електрохімія. – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2012 р.

Дисертацію присвячено встановленню механізму виникнення ускладнень та аварій під час буріння свердловин на нафту та газ, спричинених негативною дією електрокінетичних явищ, що виникають у буровому розчині. Управління електрокінетичними процесами, зокрема величиною потенціалу протікання, гальмуванням електрофоретичних процесів у свердловині за рахунок додавання відповідних хімічних реагентів до бурового розчину дозволили розробити необхідні методики попередження небажаних ускладнень при бурінні свердловин. Встановлено, що використання зовнішньої поляризації провокує виникнення електрофорезу та електроосмосу у зоні контакту бурильних труб та гірських порід, сполучення яких має синергетичну дію по відношенню до ефективності подолання аварійних ситуацій. Запропоновано технологію поляризації поверхні бурильних труб з використанням пересувного електроду, яка дозволяє ефективно долати прихоплення бурильного інструменту без значних втрат струму. Запропоновано та опрацьовано технологію поляризації з урахуванням поверхневої провідності диспергованих частинок бурових розчинів. Одержано рівняння, що описує розподіл електричного струму від зони контакту металевої поверхні з пересувним електродом для прогнозування впливу поляризації на інтервал прихоплення.

*Ключові слова:* електрокінетичні явища, потенціал течії, поверхнева провідність, зовнішня поляризація, буріння свердловин, ускладнення та аварії, пересувний електрод, питома електропровідність, діелектрична проникність.

**Шевченко Р.А. Управление электрокинетическими процессами для предотвращения и устранения осложнений и аварий при бурении скважин на нефть и газ. На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.03 – техническая электрохимия. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, 2012 г.

Диссертация посвящена установлению электрохимического механизма возникновения осложнений и аварий во время бурения скважин на нефть и газ вызванных негативным действием бурового раствора на горные породы за счет возникновения электрокинетических явлений природного и техногенного характера, которые приводят к таким нежелательным осложнениям и авариям как сальникообразование и прихват бурильных труб.

Управление электрокинетическими процессами, в частности, значением потенциала протекания и, как следствие, эффектом электрокинетического торможения, замедление электрофоретических процессов в скважине за счет добавления определенных компонентов к буровому раствору позволили разработать необходимые методики предотвращения нежелательных осложнений в процессе бурения скважин за счет уменьшения фильтрации дисперсионной среды бурового раствора в проницаемых пористых горных породах и поддержании стабильного поперечного сечения ствола скважины.

Установлено, что использование внешней поляризации провоцирует возникновение процессов электрофореза и электроосмоса в зоне контакта буровых труб и горных пород, совмещение которых имеет синергетическое действие по отношению к эффективности устранения аварийных ситуаций. Благодаря протеканию электроосмоса в зоне контакта металлической поверхности буровых труб и глинистых фильтрационных корок происходит разжижение приповерхностного прикатодного слоя за счет поступления дисперсионной среды бурового раствора в зону контакта. Вследствие электрофореза происходит движение диспергированных глинистых частиц от катода к противоположному электроду. Повышение параметров поляризации до границ протекания электролиза приводит к выделению молекулярного водорода на катоде, вследствие чего происходит газонаполнение приэлектродного слоя, что также способствует уменьшению необходимых для освобождения инструмента усилий. Таким образом, в зоне поляризации уменьшается коэффициент трения между металлической поверхностью буровых труб и фильтрационной коркой, снижаются реологические параметры бурового раствора, что позволяет освободить прихваченный инструмент без значительных усилий.

Предложена технология поляризации поверхности бурильных труб с помощью передвижного электрода – катода, в качестве анода могут выступать об-

садные трубы, которые перекрывают вышепробуренные интервалы или электрод, расположенный на устье скважины, что позволяет эффективно устранить прихват бурового инструмента без значительных потерь электрического тока.

Предложена и апробирована технология поляризации с учетом повышенной удельной электропроводности бурового раствора, связанной с поверхностной проводимостью диспергированных частиц буровых растворов.

По результатам статистической обработки предложена математическая модель распределения толщины электрофоретических отложений на поверхности трубы, а также силы тока, как функцию расстояния от точки контакта передвижного электрода и бурильных труб.

Ключевые слова: электрокинетические явления, электрофорез, электроосмос, потенциал течения, поверхностная проводимость, внешняя поляризация, бурение скважин, осложнения и аварии, передвижной электрод, удельная электропроводность, диэлектрическая проницаемость.

**Shevchenko R.A. Office of electrokinetic processes for the prevention and management of complications and failures in drilling wells for oil and gas. The manuscript.**

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.17.03 – technical electrochemistry. – The National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2012

The thesis is devoted to the mechanism of occurrence of complications and accidents during drilling for oil and gas caused by the negative effect of mud due to the appearance of electrokinetic phenomena. Office of electrokinetic processes, in particular the value of the potential flow, inhibition of electrophoretic processes in the well by adding certain components to the drilling fluid allowed us to develop the necessary techniques to prevent unwanted complications in the process of drilling wells. It is established that the use of external polarization provokes electrophoresis and electroosmosis in the contact zone of drill pipes and rocks, the combination of which has a synergistic effect with respect to the efficiency of elimination of emergency situations. The proposed technology is the polarization of the surface of the drill pipe with a mobile electrode can effectively eliminate the sticking of drilling tools without significant loss of electrical current. Mathematical processing of the results obtained by an equation which describes the distribution of the electric current from the contact zone of the metal surface and the movable electrode in order to predict the effects of polarization on the interval stuck. Proposed and worked out the technology, taking into account polarization effects of surface conductivity of dispersed particles of mud.

Keywords: electrokinetic phenomena, electrophoresis, electro-osmosis, flow potential, surface conductivity, external polarization, drilling wells, complications and damages, the mobile electrode, specific electric conductivity, dielectric permeability.



Відповідальний за випуск  
д.т.н., проф., професор кафедри технології кераміки,  
вогнетривів, скла та емалей НТУ “ХПІ”  
Пітак Я.М.

Підписано до друку 04.10.2012 р. Формат 60x90 1/16.  
Папір офсетний Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman.  
Умовн. друк. арк. 0,9 Наклад 100 прим. Замовлення № 116964

---

Надруковано у СПДФО Ізраїлев Є.М.  
Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.  
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 16