

О. М. Давиденко, д-р техн. наук, **А. О. Ігнатов**, канд. техн. наук, **М. О. Науменко**

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького,
19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: davidenko.a.n@ntu.one*

Вивчення стану обсадної колони при цементуванні свердловин

Лабораторними і аналітичними прийомами досліджень встановлено основоположні принципи взаємодії промивальної рідини і її компонентів з матеріалом обсадних труб при цементуванні свердловин.

У результаті проведення лабораторних і аналітичних досліджень процесу взаємодії матеріалу обсадних труб з активними компонентами промивальної рідини встановлені аспекти механізму корозії бурового інструменту і безпосередньо самої обсадної колони. Вивчено механізм перебігу хімічної корозії обсадних труб, що зумовлює поступове окислення металу. Проведено дослідження впливу різних типів інгібіторів на показники міри захисту поверхні сталей. На основі анодних і катодних поляризаційних кривих зроблена якісна і кількісна оцінка характеру корозійного процесу. Доведена необхідність здійснення ретельних підготовчих заходів при проведенні цементувальних робіт.

Дотриманню умов надійної експлуатації обсадної колони сповна відповідають певні технологічні параметри процесу спуску і цементування труб, що базуються на вживанні інгібіторів корозії і спеціальних покриттів породоруйнівного інструменту при спуску його в свердловину, а також нанесення захисного шару на зовнішню поверхню обсадних труб.

Отримані результати лабораторних і аналітичних досліджень є базовими для проектування режимних параметрів процесу спуско-підіймальних операцій з буровим інструментом і обсадною колоною з гарантованим забезпеченням високих техніко-економічних показників. Дані по вивченню впливу різних типів інгібіторів на показники міри захисту поверхні сталей є основою подальших дослідницьких робіт з розробки рецептур антикорозійних складів для захисту бурового інструменту і обсадної колони.

Ключові слова: цементний камінь, обсадна колона, ізоляція, корозія, промивальна рідина.

Постановка проблеми

Завершальним етапом бурових робіт є цементування свердловин. Від якості проведення даної операції залежить термін і якість експлуатації свердловини, як споруди. Головна мета, яка переслідується під час цього процесу, полягає в повному заміщенні промивальної рідини цементним розчином.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розчин, закачаний в затрубний простір свердловини, між зовнішніми стінками обсадної колони та породним масивом, повинен затвердіти протягом певного часового інтервалу і перетворитися на цементний камінь, недотримання цих вимог призводить до тотальної негативної зміни технологічних властивостей цементного розчину та надалі цементного каменю, що було показано в роботі [1].

На якість виконання робіт по цементуванню свердловин впливають наступні основні чинники: склад, технологічні властивості, якість цементної суміші, спосіб її доставки та стан стовбура свердловини, що доведено в роботі [2].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Повнота заміщення промивальної рідини цементним розчином в затрубному просторі свердловини; міцність і герметичність контакту цементного каменя з обсадною колоною і стінками свердловини, а також стан самої обсадної колони, як конструкції, найбільш вагомі у всьому перерахованому комплексі. Аналіз досліджень і публікацій стосовно зазначеного свідчить про те, що питанням запобігання корозії бурового інструменту та обсадної колони внаслідок дії активних компонентів промивальної рідини, приділяється недостатньо уваги.

Мета статті – висвітлення принципів удосконалення процесу цементування свердловин на підставі вивчення стану обсадної колони під дією активних компонентів промивальних рідин.

Опис методикки обґрунтування її вживання

При проведенні досліджень використовувалась комплексна аналітико-експериментальна методика, яка дозволяє отримувати цілком об'єктивні дані щодо корозійної взаємодії фаз; вона полягала у проведенні лабораторних досліджень процесу взаємодії різних хімічних компонентів із металом обсадних труб та теоретичного аналізу отриманих результатів; анодні поляризаційні криві були отримані потенціостатичним методом, при якому підтримувались на електроді постійні значення потенціалу і замірялись сталі значення щільність струму; зняття поляризаційних кривих проводилося на потенціостаті П-56П. В цілому установка складалася з електролітичного вічка, потенціостата, катодного вольтметра, швидкодіючого потенціометра БП-5684.

Виклад основного матеріалу дослідження

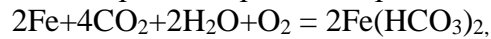
Залежно від цільового призначення бурових робіт застосовуються різні типи промивальних рідин, які можуть приводити до корозії бурового інструменту та безпосередньо самої обсадної колони. Відомо, що при хімічній корозії метал або сплав, взаємодіючи з газами або рідинами, утворює різні хімічні сполуки (оксиди, сульфіді і ін.), а потім, руйнуючись, переходять в неметалічний стан [3]. Швидкість корозії оцінюється втратою маси металу з одиниці його поверхні за одиницю часу. Процес руйнування починається з поверхні металу і поширюється углиб. Для визначення корозії користуються терміном «глибинний показник швидкості корозії протягом року» і для оцінки корозійної стійкості складають класифікацію за групами і балами стійкості. У табл. 1 приведена існуюча класифікація за групами стійкості металів.

Таблица 1. Класифікація металів за групами стійкості

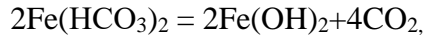
Група стійкості	Глибинні показники стійкості, мм/рік	Бал стійкості
1. Абсолютно стійкі	< 0,001	1
2. Вельми стійкі	0,001 – 0,005	2
3. Стійкі	0,005 – 0,01	3
	0,01 – 0,05	4
	0,05 – 0,1	5
4. Знижено-стійкі	0,1 – 0,5	6
	0,5 – 1,0	7
5. Малостійкі	1,0 – 5,0	8
	5,0 – 10,0	9
6. Нестійкі	> 10,0	10

Мінеральні води, що містять CO₂ підвищеної концентрації, агресивніше впливають на метали та прискорюють процес корозії і руйнування труб. Хімічна корозія з'являється унаслідок

знаходження у воді CO_2 , O_2 , H_2S , HCl , Cl і H_2SO_4 в концентраціях, що обумовлюють поступове окислення металу. У газонасичених мінеральних водах інтенсивність корозії підвищується. У вуглекислій воді із значним вмістом CO_2 реакція протікає за рівнянням

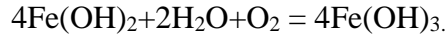


де $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ є нестійким з'єднанням і у свою чергу розпадається:

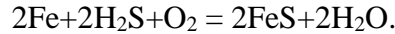


де $\text{Fe}(\text{OH})_2$ – гідрат закису заліза.

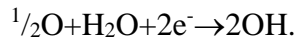
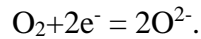
При тривалій дії води і кисню утворюється гідрат оксиду заліза – іржа



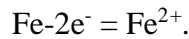
У сульфідній воді в результаті дії сірководня на метал утворюється сірчисте залізо



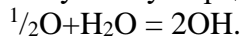
Кисень в поверхні розділу «рідина-повітря», як відомо, виробляє найбільшу окислюючу дію, відновлюючи метал



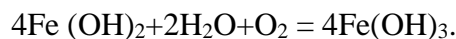
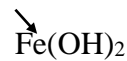
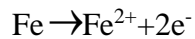
У хімічних реакціях метал віддає два зовнішні електрони



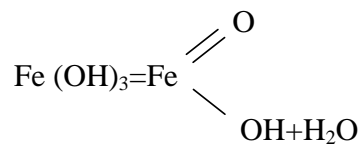
Анодний процес продовжується в наступному порядку



Потік іонів



Комплекс, що утворився, частково відщеплюючи воду, за складом відповідає іржі



Ефективним способом захисту бурового устаткування від корозії є вживання речовин-інгібіторів, що додаються до промивальних рідин при бурінні свердловин. Авторами роботи на кафедрі техніки розвідки РКК НТУ ДП були проведені дослідження з різними типами інгібіторів з визначення міри захисту (%) сталей. Зразки випробовувалися протягом 2 годин при температурі 80°C . Концентрація інгібітору складала близько 420 – 530 мг/л. Результати випробувань приведені в табл. 2.

Таблиця 2. Результати досліджень захисної дії інгібіторів

Основа	Промивальна рідина		Міра захисту (%) для сталей групи		
	Добавка				
	назва	вміст, г/л	Д	Е	К
Технічна вода	АО-1	490	48	46	22
	Корімід	590	100	100	100
	ІКБ-В	480	100	100	100
	ЦКБ-2-2	420	69	62	64

Особливістю досліджень були наступні умови: вода хлоридно-натрієвого складу з мінералізацією від 2,1 до 37,3 г/л і присутність аніонів CO_3 , SO_4 і HCO_3 . У таких умовах швидкість корозії збільшується, зокрема обсадних колон, та паралельно цьому формуються

передумови різкого падіння адгезійної взаємодії між матеріалом обсадних труб і цементним каменем. Крім того, у разі наявності фільтраційних каналів у цементному камені [2], створюються позитивні чинники виникнення корозії в зовнішніх стінках обсадних труб.

Встановлено, що в таких умовах як інгібітор корозії найдоцільніше застосовувати ІКБ-В, захисна дія якого заснована на здатності адсорбуватися на поверхні металів з утворенням плівки, яка є бар'єром між металом та агресивним середовищем.

Важливе значення для вивчення корозійних властивостей промивальних рідин мають поляризаційні характеристики. Аналіз корозійних поляризаційних діаграм, побудованих на основі анодних і катодних поляризаційних кривих, дозволяє зробити якісну і кількісну оцінку характеру корозійного процесу.

Суть поляризаційного методу зводиться до знаходження з поляризаційних даних залежності між швидкістю реакції, що протікає на електроді, і його потенціалом. Якщо в промивальній рідині знаходиться інгібітор, то електрохімічні виміри дозволяють визначити вплив добавки на кінетику катодного і анодного процесів, а також встановити переважну дію інгібітору на один з них.

Поляризаційні дані дозволяють судити про зміну струму саморозчинення, що викликається добавкою, а звідси – про вплив концентрації добавки на швидкість процесу. Найбільш зручний метод вивчення кінетики електродних процесів – це здобуття анодних поляризаційних кривих, тобто встановлення залежності між анодним струмом і потенціалом електроду.

У роботі анодні поляризаційні криві були отримані потенціо-статичним методом, при якому підтримувалися на електроді постійні значення потенціалу і замірялися сталі показники щільності струму.

Використовуючи залежності щільності струму від швидкості корозії $0,1 \text{ mA/cm}^2 - 1,16 \text{ мм/рік}$, були отримані швидкість корозії і анодні та катодні поляризаційні характеристики для ІКБ-В у воді (табл. 3).

Таблиця 3. Результати виміру захисної дії інгібітора ІКБ-В у воді

C, мг/л	$0,1 \text{ mA/cm}^2$	1,16 мм/рік
0	$4,37 \cdot 10^{-1}$	5,06
1	$4,56 \cdot 10^{-1}$	5,2
5	$5 \cdot 10^{-1}$	5,8
20	$5,25 \cdot 10^{-1}$	6
50	$4,36 \cdot 10^{-1}$	5

Встановлено, що інгібітор володіє захисними властивостями при концентрації вище 20 мг/л і оптимальними є концентрації понад 50 мг/л. Результати визначення захисної дії ІКБ-В при введенні його до складу глинистого розчину приведені в табл. 4.

Концентрація інгібітору ІКБ-В 20 мг/л є оптимальною для даних умов протікання корозійного процесу вуглецевої сталі в буровому розчині. Подальше збільшення концентрації інгібітору приводить до зростання швидкості корозії [4].

Таблиця 4. Результати виміру захисної дії інгібітора ІКБ-В в глинистому розчині

С, мг/л	0,1 мА/см ²	1,16 мм/рік
0	1,5·10 ⁻¹	0,17
1	1,38·10 ⁻¹	0,16
5	1,1·10 ⁻¹	0,12
20	0,725·10 ⁻¹	0,08
50	2,76·10 ⁻¹	0,3

Введення інгібітора корозії ІКБ-В до складу глинистого розчину сприяє поліпшенню його технологічних властивостей (табл. 5).

Таблиця 5. Залежність властивостей промивальної рідини від концентрації інгібітора

№	Склад промивальної рідини	Властивості промивальної рідини			
		Водовіддача, см ³ за 30 хв	В'язкість, с	Питома вага, кг/м ³	
1	Без інгібітора	5	25 – 30	1200	
2	3 інгібітором	1 мг/л	5	30	1200
		5 мг/л	4,9	33	1210
		20 мг/л	4,5	40	1220
		50 мг/л	4,2	55	1250

До появи вогнищ корозії на внутрішній поверхні труб може приводити прискорений спуск доліт в свердловину, а на зовнішній – абразивний контакт з оточуючими породами при просуненні обсадної колони стовбуром свердловини. Надалі промивальні або пластові рідини (а також фільтрат промивальних рідин), діючи на обсадні труби, утворюють вогнища корозії в інтервалі знятих окалини і ризок. Для запобігання пошкодженню обсадних труб рекомендується застосовувати спеціальні покриття породоруйнівного інструменту при спуску бурового інструменту в свердловину або нанесення захисного шару на зовнішню поверхню обсадних труб.

Висновки

1. Показано що при хімічній корозії процес руйнування починається з поверхні металу і при розвитку поширюється углиб.
2. Встановлено, що ефективним способом захисту бурового інструменту від корозії є добавки до промивальних рідин речовин-інгібіторів, що адсорбуються на поверхнях розділу з утворенням захисної плівки.
3. Відмічено, що дія інгібіторів корозії залежить від хімічного складу, вмісту їх в промивальній рідині і технології застосування.
4. Експериментально-теоретичні дослідження хімічної корозії поверхні металу бурового інструменту повинні продовжуватися у напрямках пошуку ефективних інгібіторів корозії (у якості добавок до промивальних рідин) та створенні технології протектування зовнішньої поверхні бурового інструменту.

Освещение принципов совершенствования процесса цементирования скважин на основании изучения состояния обсадной колонны под действием активных компонентов промывочных жидкостей.

Лабораторными и аналитическими приемами исследований установлены основополагающие принципы взаимодействия промывочной жидкости и ее компонентов с материалом обсадных труб при цементировании скважин.

В результате проведения лабораторных и аналитических исследований процесса взаимодействия материала обсадных труб с активными компонентами промывочной жидкости установлены аспекты механизма коррозии бурового инструмента и непосредственно самой обсадной колонны. Изучен механизм протекания химической коррозии обсадных труб, обуславливающей постепенное окисление металла. Проведены исследования влияния различных типов ингибиторов на показатели меры защиты поверхности сталей. На основе анодных и катодных поляризационных кривых сделана качественная и количественная оценка характера коррозионного процесса. Доказана необходимость осуществления тщательных подготовительных мероприятий при проведении цементировочных работ.

Соблюдению условий надежной эксплуатации обсадной колонны соответствуют вполне определенные технологические параметры процесса спуска и цементирования труб, базирующиеся на применении ингибиторов коррозии и специальных покрытий породоразрушающего инструмента при спуске его в скважину, а также нанесение защитного слоя на внешнюю поверхность обсадных труб.

Полученные результаты лабораторных и аналитических исследований являются базовыми для проектирования режимных параметров процесса спуско-подъемных операций с буровым инструментом и обсадной колонной с гарантированным обеспечением высоких технико-экономических показателей. Данные по изучению влияния различных типов ингибиторов на показатели меры защиты поверхности сталей представляют собой основу дальнейших исследовательских работ по разработке рецептур антикоррозионных составов для защиты бурового инструмента и обсадной колонны.

Ключевые слова: цементный камень, обсадная колонна, изоляция, коррозия, промывочная жидкость.

O. M. Davydenko, A. O. Ihnatov, M. O. Naumenko

A study of the state of column is at cementation of bore holes

Illumination some principles improvement process cementation of bore holes on the basis study of the state column under the action of active components of bore liquids.

The laboratory and analytical receptions researches are set fundamental principles of co-operation of bore liquid and its components with material of pipes at cementation bore holes.

As a result of leadthrough of laboratory and analytical researches process of co-operation material of pipes with active components of bore liquid the aspects mechanism of corrosion boring instrument and column. The mechanism flowing of chemical corrosion pipes, stipulating gradual oxidization of metal is studied. Researches influence of different types of inhibitors are conducted on the indexes measure of defence surface steel. On the basis of anodic and cathode polarization curves the high-quality and quantitative estimation character of corrosive process is done. The necessity realization of careful preparatory measures is well-proven during the leadthrough of cementation works.

The fully certain technological parameters process of lowering and cementation of pipes correspond the observance reliable external of column environments, being based on application of inhibitors corrosions and the special coverages of drill instrument at lowering of it in a bore hole and also causing of protective layer on the external surface of pipes.

The got results of laboratory and analytical researches are base for planning of regime parameters process of descent-liftings operations with a boring instrument and column with the assured providing of high technique-economic indexes. The influences different types of inhibitors given on a study on the indexes measure defence of surface steel are basis of further research works on development compounding of anticorrosive compositions for defence of boring instrument and column.

Key words: cement stone, column, isolation, corrosion, washings liquids.

Література

1. Необходимость обработки кавернозных зон скважин / А. Н. Давиденко, Б. Т. Ратов, А. А. Игнатов и др. // Промышленность Казахстана. – 2016. – Вып. 3 (96). – С. 63 – 68.
2. Игнатов А. А. Исследование параметров процесса удаления глинисто-шламовых образований из кавернозных зон скважин // Mining of Mineral Deposits. – 2016. – Вып. 1(10). – С. 63 – 68.
3. Петров Л. Н., Супрунюк Н. Г. Коррозионно-механическое разрушение металлов и сплавов. – К.: Наукова думка, 1991. – 216 с.
4. Проволоцкий А. Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин пород. – К.: Техника, 1989. – 177 с.

Надійшла 15.06.18

References

1. Davidenko, A. N., Ratov, B. T., Ihnatov, A. A. et al. (2016). Neobkhdimost obrabotki kavernoznykh zon skvazhin [Necessity of treatment vuggy areas of bore holes]. *Promyshlennost Kazakhstana.–Industry of Kazakhstan, 3, 96, 63 – 68* [in Russian].
2. Ihnatov, A. A. Issledovanie parametrov processa udaleniia glinisto-shlamovykh obrazovaniy iz kavernoznykh zon skvazhin [Research into parameters characterizing the process of withdrawing clay-mud formations from bore hole vuggy zones]. *Mining of Mineral Deposits, 1, 10. – 63 – 68* [in Russian].
3. Petrov, L. N., & Supruniuk N. G. (1991). *Korrozionno-mekhanicheskoe razrushenie metallov i splavov [Corrosive-mechanical destruction of metals and alloys]*. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
4. Provolockii, A. E. (1989). *Struino-abrazivnaia obrabotka detalei mashin [Stream-abrasive treatment of details machines]*. Kiev: Tekhnika [in Russian].

УДК 622.24.051

DOI: 10.33839/2223-3938-2018-21-1-119-126

А. А. Кожевников, д-р. техн. наук; **В. Л. Хоменко**, канд. техн. наук¹; **Б. Т. Ратов**, д-р техн. наук, **А. Токтасынов**, **Е. Мусаев**, магистранты²

¹Национальний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
пр. Д. Яворницького, 19, г. Дніпр, Україна e-mail: aak2@ua.fm

²Каспійський університет, (г.Алматы, Республіка Казахстан), e-mail: ratov69@mail.ru

Многофакторный регрессионный анализ стендовых исследований процесса транспортировки криогенно-гравийного фильтра по стволу скважины

Целью данной работы является анализ результатов стендовых исследований технологии транспортировки экспериментального образца криогенно-гравийного фильтра по стволу скважины. Для этого был использован метод многофакторного регрессионного анализа линейной и экспоненциальной модели процесса спуска. В результате выполнения работы было установлено, что коэффициент детерминации линейной модели многофакторной регрессии равен 0,66. Экспоненциальная модель более достоверно, чем линейная позволяет аппроксимировать результаты исследований (коэффициент детерминации 0,835). В дальнейшем целесообразно провести многофакторный анализ, используя другие модели, например, полиномиальную, степенную, гиперболическую. Для повышения достоверности результатов многофакторного регрессионного анализа необходимо проведение дополнительных