

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

ІГНАТОВ АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 622.245(043.3)

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІЧНИХ
ЗАСОБІВ ПІДГОТОВКИ СТОВБУРА СВЕРДЛОВИНИ ДО
ЦЕМЕНТУВАННЯ ОБСАДНОЇ КОЛОНИ**

Спеціальність 05.15.10 – Буріння свердловин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі техніки розвідки родовищ корисних копалин Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Давиденко Олександр Миколайович,
завідувач кафедри техніки розвідки родовищ корисних копалин Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Чудик Ігор Іванович, завідувач кафедри буріння нафтових і газових свердловин Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Міністерства освіти і науки України

кандидат технічних наук
Ставичний Євген Михайлович,
начальник управління буріння науково-дослідного і проектного інституту ПАТ «Укрнафта», м. Івано-Франківськ

Захист дисертації відбудеться " 19 " жовтня 2017 р. о 14⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 08.080.08 при Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19, т. (0562) 47-24-11)

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» за адресою 49005, м. Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19.

Автореферат розісланий " 15 " вересня 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

К.А. Зіборов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вуглеводні, серед яких найбільш важливу групу становлять нафта і газ, є вирішальною стратегічною сировиною для забезпечення як економічної, так і політичної незалежності України.

Видобуток нафти і газу з підземних надр здійснюється з застосуванням бурових технологій при спорудженні свердловин. Відокремлення розкритих свердловиною пластів відбувається за допомогою операції кріплення, яка включає спуск обсадних труб та заповнення затрубного простору цементним розчином, отриманим шляхом зачинення водою спеціального тампонажного цементу для свердловин за заданою рецептурою.

Експлуатаційний ресурс свердловин на нафту і газ повинен складати значну кількість років, при цьому необхідно повністю виключити такі ускладнення як затрубні перетоки флюїдів і негерметичність обсадної колони. Зазначене повною мірою стосується також водозабірних і геотехнологічних свердловин.

Довговічність свердловин, а також міжремонтний період будуть залежати від якості цементування обсадної колони, яка є прямим наслідком властивостей цементного каменю, що утворився з цементного розчину. Фізико-хімічні властивості цементного каменю залежать не тільки від складу цементного розчину закачаного в затрубний простір, але і від якості підготовки стовбура свердловини перед спуском обсадної колони.

Буріння нафтових, газових, геотехнологічних і водозабірних свердловин в переважній більшості здійснюється у комплексі порід осадового походження, які схильні до каверноутворення. Надалі в кавернах, що утворилися, за рахунок збільшення площі поперечного перетину стовбура свердловини і, як наслідок, зменшення швидкості висхідного потоку бурового розчину, відбувається накопичення шламового матеріалу та формування глинисто-шламових відкладень.

У разі явно вираженої кавернозності, в процесі закачування цементного розчину в затрубний простір, спостерігається його активне змішування з глинисто-шламовими відкладеннями, які знаходяться в кавернах, що призводить до різкої негативної зміни усіх фізико-механічних властивостей цементного каменю. Саме через зазначене явище до 50% свердловин зданих в експлуатацію необхідно піддавати капіталомістким ремонтно-відновним роботам.

Аналіз існуючих технічних засобів підготовки стовбура свердловини до цементування свідчить про їх низьку ефективність через загальний істотний недолік – незначний механічний вплив та малий радіус дії на глинисто-шламові відкладення в кавернозних інтервалах, які в переважній більшості мають суттєві поперечні розміри. Відсутні також науково-обґрунтовані підходи відносно проектування технології підготовки стовбура свердловини до цементування, яка повинна бути підпорядкована головній меті – видаленню з каверн глинисто-шламових відкладень, здатних змішуватися з цементним розчином.

Саме тому необхідність обґрунтування параметрів технології і технічних засобів підготовки стовбура свердловини до цементування обсадної колони та встановлення їх залежностей від показників процесу шламоскупчення в кавернозних інтервалах є **актуальною науковою задачею**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з науковим напрямом кафедри техніки розвідки родовищ корисних копалини Державного ВНЗ «НГУ» і є складовою досліджень, виконаних за наступними госпдоговірними науково-дослідними роботами: ОБ-22 «Оптимізація параметрів алмазного буріння з імпульсною промивкою та розробка раціональних компоновок бурильних колон» (№ ДР 0106U004135), 040344 «Розробка рекомендацій по підвищенню ефективності очищення нафтошламів» (№ ДР 0108U000553), ГП-485 «Теоретика-прикладні основи створення енерго-ефективних та екологічно безпечних систем глибоководного підйому корисних копалин» (№ ДР 0116U004622) та відповідає напрямкам і завданням «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р.», затвердженої законом України № 3268-VI від 21 квітня 2011 р.

Мета роботи полягає у встановленні закономірностей процесу шламоскупчення в кавернозних інтервалах стовбура свердловини та обґрунтуванні на цій основі параметрів технології і технічних засобів підготовки стовбура до цементування обсадної колони.

Поставлена мета досягається вирішенням наступних основних задач:

- аналіз існуючих методів і пристроїв для підготовки до цементування стовбура свердловини, ускладненого наявністю кавернозних інтервалів;
- визначення впливу характеристик глинисто-шламових відкладень на технологічні показники цементного розчину і каменю та встановлення їх залежності від фізико-хімічних властивостей глинисто-шламових відкладень;
- дослідження параметрів процесу шламоскупчення в кавернозних інтервалах і встановлення залежностей цих параметрів від геолого-технічних умов буріння свердловин;
- дослідження та обґрунтування раціональних конструктивних і технологічних параметрів пристрою для створення комбінованого руху промивальної рідини в кавернозній зоні стовбура свердловини;
- проведення стендових і виробничих досліджень працездатності пристрою для підготовки стовбура свердловини до цементування обсадної колони і розробленої технологічної схеми його застосування.

Ідея роботи полягає у встановленні та використанні характеристик процесу шламоскупчення в кавернозних інтервалах для обґрунтування параметрів технології і технічних засобів підготовки стовбура свердловини до цементування, за рахунок чого створюються умови забезпечення надійності їх роботи.

Об'єкт досліджень – процеси шламоскупчення в кавернозних інтервалах та видалення з них глинисто-шламових відкладень шляхом створення комбінованого руху промивальної рідини.

Предметом досліджень є взаємозв'язок між процесом шламоскупчення в кавернозних інтервалах та параметрами технології і технічних засобів підготовки стовбура свердловини до цементування обсадної колони.

Методи досліджень. Аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень, теоретичні, аналітичні, лабораторні і стендові дослідження процесів, що відбуваються при бурінні в складних гірничо-геологічних умовах та роботи пристрою для видалення глинисто-шламових відкладень із застосуванням методів математич-

ної статистики, фізичного і математичного моделювання, програмування на ЕОМ, виробничих випробувань.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукові положення, які виносяться на захист:

1. Параметром, що визначає процес шламоскупчення в кавернозному інтервалі свердловини є кут укусу відкладень, який для ньютонівської промивальної рідини та шламу скельних порід зростає пропорційно коефіцієнту кавернозності в поліноміальній степеневій функції; а для неньютонівської промивальної рідини та шламу зв'язних порід збільшується за експоненціальною залежністю.

2. Сила дії потоку промивальної рідини, що протікає крізь лопатевий робочий орган пристрою для обробки, на глинисто-шламові відкладення в кавернах свердловин, знаходиться в квадратичній залежності від діаметру, частоти обертання робочого органу і кроку гвинтової лінії лопаті та лінійній від густини промивальної рідини і відношення швидкостей її протікання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

1. Уперше показано, що інтегральною характеристикою ступеню заповнення кавернозного інтервалу є величина кута укусу шламових відкладень, яка знаходиться в межах від 30 до 60 градусів, досягаючи граничних 70 градусів та виступає похідною фізико-хімічних властивостей глинистої фракції, гранулометричного складу продуктів руйнування порід, швидкості висхідного потоку, що несе їх та потужності ускладненого інтервалу.

2. Уперше комплексно вивчений механізм впливу кавернозних глинисто-шламових відкладень на технологічні властивості цементного розчину і каменю, для якого наявність концентрації глинистої фракції в межах від 2 до 40%, збільшення водоцементного співвідношення від 0,4 до 0,6 та проникнення часток шламу розміром від 2 до 10 мм, призведе до падіння міцності від 8 до 60%.

3. Уперше теоретично і експериментально обґрунтовані параметри технології і технічних засобів підготовки стовбура свердловини до цементування обсадної колони, що забезпечують формування комбінованого руху потоків рідини, які сприяють руйнуванню і видаленню глинисто-шламових відкладень з кавернозних інтервалів при наступних показниках: відсотковий вміст шламових часток у висхідному потоці промивальної рідини зростає в середньому на 50 - 60%, показники густини і в'язкості промивальної рідини збільшуються на 15 - 20%, в порівнянні з базовими, отриманими без застосування засобів.

Обґрунтованість і достовірність результатів роботи забезпечені: використанням фундаментальних методів фізики і механіки гірських порід, механіки суцільного середовища, гідромеханіки; математичною статистикою в поєднанні із застосуванням науково-обґрунтованих методів постановки експериментальних досліджень. Достовірність отриманих результатів підтверджується задовільною збіжністю експериментальних і розрахункових даних. Для досліджень властивостей цементного каменю коефіцієнт варіації не перевищує 30% при довірчій ймовірності 0,9; величина достовірності апроксимації при дослідженні кута укусу глинисто-шламових відкладень складає 0,95; середня сумарна відносна похибка апроксимації експериментальних даних розрахунковою

моделлю робочого органу пристрою для видалення глинисто-шламових відкладень складає 5%. Відтворюваність результатів досліджень забезпечувалась використанням стандартних вимірювальних приладів; адекватність математичних моделей – методами оцінки відповідно до теорії математичної статистики.

Наукове значення роботи полягає у встановленні залежності кута укосу шламових відкладень від фізико-хімічних властивостей глинистої фракції, гранулометричного складу шламу, швидкості висхідного потоку, що його несе та потужності ускладненого інтервалу; визначені залежності сили дії потоку, що протікає крізь лопатевий робочий орган пристрою, від діаметру та частоти обертання органу, кроку гвинтової лінії лопаті, густини і відношення швидкостей протікання промивальної рідини.

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

- розробці методики визначення конструктивних параметрів пристрою для видалення глинисто-шламових відкладень зі стовбура свердловини, що дозволяє вирішувати питання вибору кількості лопатей його робочого органу, їх геометрії і розмірів, форми просторового положення;

- розробці технологічних режимів з застосування пристрою в операціях кріплення при цементуванні свердловин, ускладнених наявністю каверн;

- розробці на рівні винаходів нових спеціальних пристроїв для видалення глинисто-шламових відкладень (пат. України №№ 90541, 97996, 98034).

Реалізація результатів роботи. Методичні рекомендації з визначення параметрів комплексної технології підготовки свердловин до цементування прийняті КП «Південукргеологія» (протокол № 5 від 27.11.2015 р.) і інженерно-геофізичним центром ДГЕ «Дніпрогеофізика» Державного ГП «Укргеофізика» (протокол № 2 від 21.09.2016 р.) до використання у виробничих умовах.

Результати досліджень використані в учбовому процесі: при вивченні дисциплін «Буріння свердловин на нафту і газ», «Закінчення свердловин» і «Фізико-хімічні основи процесів видобутку корисних копалин свердловинними засобами» студентами спеціальності «Буріння свердловин» Державного ВНЗ «Національний гірничий університет».

Особистий внесок автора полягає у визначенні проблематики, ідеї і мети роботи, формулюванні завдань досліджень, наукових положень і їх новизни, визначенні методів досліджень і розробці експериментальних стендів, проведенні лабораторних і стендових досліджень, узагальненні та аналізі отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення, наукові і практичні результати дисертаційної роботи розглядалися на науково-технічних радах КП «Південукргеологія» (Дніпропетровськ, 2015 р.) та інженерно-геофізичного центру ДГЕ «Дніпрогеофізика» Державного ГП «Укргеофізика» (Дніпро, 2016 р.), на щорічній Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірників» (Дніпро, 2015 - 2016 р.р.), на XIII, XVIII - XIX Міжнародних конференціях «Породоруйнівний і металообробний інструмент – техніка і технологія його виготовлення і застосування» (АР Крим, Морське, 2010 р., Трускавець, 2015 - 2016 р.), на XI щорічній Міжнародній науково-технічній конференції «Вібрації в техніці і технологіях» (Полтава, 2012 р.), на Міжнародній на-

уково-практичній конференції «Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії» (Івано-Франківськ, 2012 р.), на II - III Всеукраїнських науково-технічних конференціях студентів, аспірантів і молодих учених «Наукова весна» (Дніпропетровськ, 2011 - 2012 р.р.).

Публікації. Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи опубліковані в 26 друкарських роботах, з них: одна монографія; 15 статей в спеціалізованих наукових виданнях (одне з яких входить в наукометричну базу Index Copernicus, 3 - в спеціалізованих зарубіжних виданнях, 5 - без співавторів); п'ять патентів України; п'ять – матеріали конференцій.

Структура і об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Містить 194 сторінки машинописного тексту, у тому числі 60 рисунків, 7 таблиць, список використаних джерел зі 147 найменувань, а також 9 додатків.

Автор висловлює вдячність докторам технічних наук А.О. Кожевникову, А.К. Судакову та І.І. Чудику, від яких було отримано цінні консультації при виконанні роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано наукову задачу, мету, завдання, ідею роботи, об'єкт, предмет і методи досліджень, вказано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено характеристику роботи, відомості про особистий внесок автора і апробацію результатів роботи.

Перший розділ присвячено огляду досліджень та розробок в області підготовки стовбура свердловин до цементування обсадної колони при їх спорудженні в складних гірничо-геологічних умовах, які полягають у втраті стійкості порід та наступному каверноутворенні.

Наведено загальну характеристику та окреслено мету робіт з підготовки стовбура свердловини до спускання та цементування обсадної колони.

Значний внесок в розробку технології і техніки цементування свердловин внесли: Андріанов М.І., Ашраф'ян М.О., Баженов Ю.М., Бакшутів В.С., Басаригін Ю.М., Бондарев В.І., Бражененко А.М., Будніков В.Ф., Булатов А.І., Бутт Ю.М., Габузов Г.Г., Горський В.Ф., Гринько Ю.В., Давиденко О.М., Данюшевський В.С., Дубенко В. Є., Івачов Л.М., Ізмайлов Л.Б., Кіпко Е.Я., Клещенко І.І., Коцкулич Я.С., Кравченко І.В., Крилов В.І., Круглицький М.М., Куатбаєв К.Н., Кунцяк Я.С., Леонов Є.Г., Макаренко П.П., Маріампольський М.А., Мартиненко І.І., Навроцький Б.І., Ніжнік А.Є., Овчинников В.П., Ратов Б.Т., Ребіндер П.О., Семак Г.Є., Ставичний Є.М., Судаков А.К., Сукурєнко Є.І., Тершак Б.А. Тітков М.І., Філатов Б.С. Яремійчук Р.С. та ін.

На підставі аналізу досліджень, виконаних українськими і зарубіжними вченими визначено причини і наслідки порушення цілісності стовбура свердловини, зокрема встановлені основні чинники утворення каверн та їх вплив на показники буріння та експлуатації свердловин. Доведено, що саме кавернозність є основним фактором різкого зниження якості цементного каменю в затрубному про-

сторі стовбура свердловини. Зазначене обумовлене активним змішуванням цементного розчину з глинисто-шламовими відкладеннями, які знаходяться в кавернах.

В основі питання підвищення результативності процесу цементування свердловин лежать завдання з виключення невикорданого шламоскупчення в кавернах, забезпечення видалення глинисто-шламових відкладень та недопущення їх змішування з цементним розчином.

В результаті узагальнення теоретичних і лабораторних досліджень та фактичних геологічних, геофізичних і техніко-технологічних даних по родовищах України і країн зарубіжжя показано, що ефективною технологією є видалення глинисто-шламових відкладень з каверн спеціальними пристроями, або переведення їх в інертний стан. Однак дослідницькі роботи цього кола питань зводяться в основному тільки до ідей і патентів і не одержали належного теоретичного розрахунку і практичного впровадження.

Тому обґрунтування параметрів технології і технічних засобів підготовки стовбура свердловини до цементування обсадної колони та встановлення їх залежностей від показників процесу шламоскупчення в кавернозних інтервалах є **актуальною науковою задачею**.

Другий розділ присвячений встановленню характеру зміни технологічних властивостей цементного розчину і каменю при введенні до їх складу домішок, які є фазою глинисто-шламових кавернозних відкладень.

Дослідженнями встановлено, що проникнення до цементного розчину, закачаного в затрубний простір свердловини, глинисто-шламових відкладень призведе до уповільнення термінів тужавіння цементного розчину та зниження граничних значень пластичної міцності $P_{пл}$ цементного тіста в часі t_m (рис. 1).

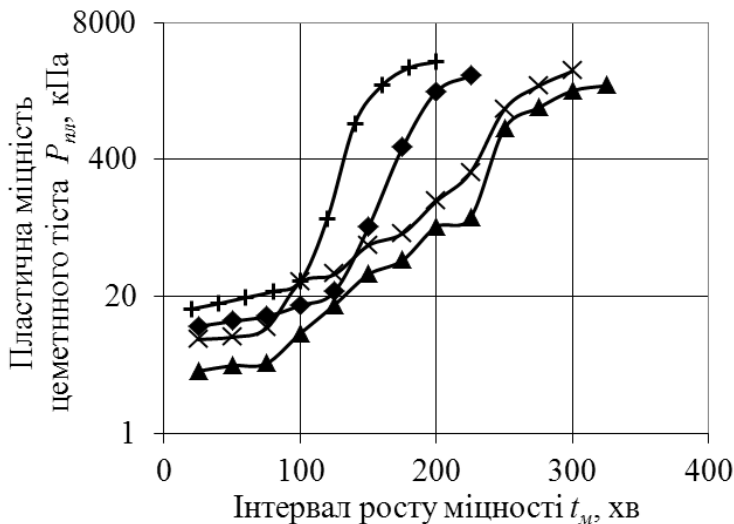


Рисунок 1 – Зміна пластичної міцності цементного тіста при введенні до його складу різних глинистих фаз: $+$ - вихідне цементне тісто; \times - тісто із домішкою бентоніту; \blacklozenge - тісто із домішкою іліту; \blacktriangle - тісто із домішкою каоліну

Наслідком цих явищ стане нерівномірність росту міцності структури цементного тіста в інтервалі каверни і кільцевому просторі, що спричинить виникнення локальних зон концентрації напруги на межах переходу.

Також важливою характеристикою для цементного розчину є водоутримуюча здатність; вона визначає його стійкість і грає провідну роль в процесах формування цементного каменю. Лабораторними методами досліджень вивчався вплив глинистої фракції на показники водовіддачі цементного

розчину при додатковому введенні до його складу хімічних реагентів-регуляторів, що використовуються для зниження водовіддачі.

Аналіз експериментальних даних (рис. 2) доводить, що проникнення глинистої фракції, зокрема сепіоліт-іліт-каолінової, до цементного розчину знижує його водоутримуючу здатність, а його додаткова хімічна обробка практично не позначається на зміні контрольованих показників, в середньому їх зниження складає від 6 до 8%, причому тенденція істотно не змінюється при підвищенні концентрації реагентів-регулювальників, які, крім того, сприяють уповільненню термінів схоплювання цементних розчинів, що не завжди допустимо.

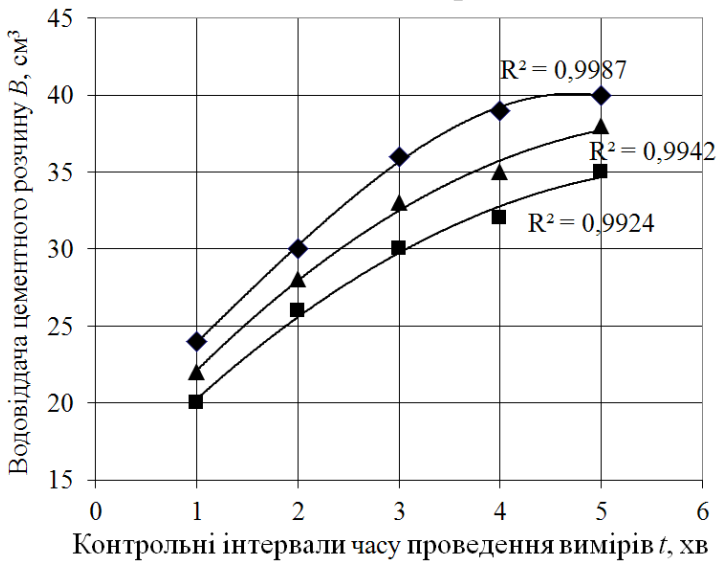


Рисунок 2 – Залежність показника водовіддачі при введенні в цементний розчин сепіоліт-іліт-каолінової фракції і реагентів-регулювальників (по масі) в кількості: \blacklozenge - $C_{pp} = 0,5\%$; \blacksquare - $C_{pp} = 1,5\%$; \blacktriangle - $C_{mn} = 1\%$

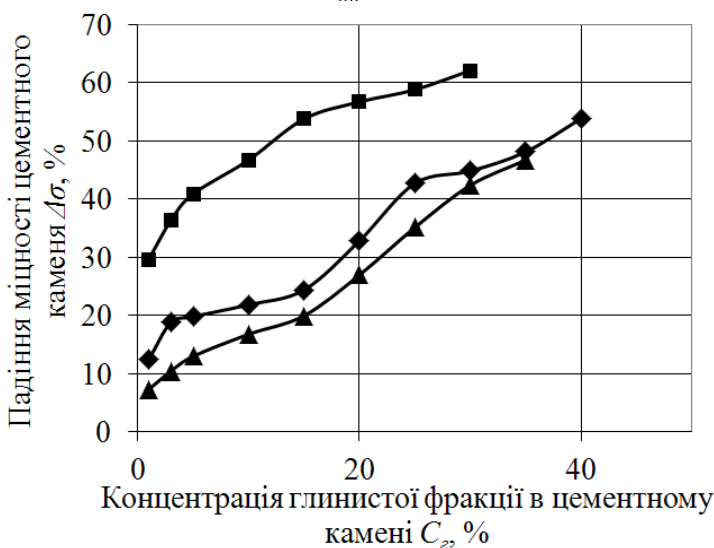


Рисунок 3 – Процентне зниження міцності цементного каменя при його дослідженнях на одноосьовий стиск, за умов наявності в ньому глинистих фракцій: \blacksquare - каолін; \blacklozenge - бентоніт; \blacktriangle - іліт

фракції зростає в середньому на 30 - 40%, хімічна обробка призводить до зниження абсолютних значень показника водоутримуючої здатності на 18 - 20% при одночасному зменшенні швидкості фільтрації на 25 - 30%;

– при одноосьовому стисканні зразків величина міцності у разі збагачення цементного каменя бентоніт-ілітовою глинистою фракцією знижується на 10 - 50%, а каоліновою – 30 - 60%;

Проникнення до складу цементного розчину глинистої фракції тієї або іншої мінералогічної групи спричиняє за собою кардинальне падіння показників міцності цементного каменя $\Delta\sigma$ у порівнянні з їх теоретичними значеннями для даної категорії цементу, про що свідчать графіки, представлені на рис. 3; особливо яскраво це проявляється у разі наявності каоліну і аргіліту.

На підставі проведених лабораторних досліджень властивостей цементного розчину та каменю були зроблені наступні висновки:

– термін тужавіння цементних розчинів зростає в 1,25 - 1,35 рази; інтервал зростання пластичної міцності збільшується на 100 - 150 хв порівняно з базовими значеннями, отриманими для незабрудненого цементного тіста; показник водоутримуючої здатності у разі наявності у складі цементного розчину глинистої

фракції зростає в середньому на 30 - 40%, хімічна обробка призводить до зниження абсолютних значень показника водоутримуючої здатності на 18 - 20% при одночасному зменшенні швидкості фільтрації на 25 - 30%;

– з підвищенням показника водоцементного відношення m від 0,4 до 0,6 значення величини міцності в ряду монтморилоніт→сепіоліт-іліт→каолін знижується в середньому на 10 - 30%;

– із збільшенням розмірів часток шламу, які поступають в цементний розчин і зростанням водоцементного співвідношення знижується міцність цементного каменю на одновісне стискування; тріщиноутворення в ньому проявляється при вертикальному навантаженні, яке становить близько 65 - 75% від такого для зразків, виготовлених з цементного розчину без включень.

Третій розділ містить результати досліджень свердловинних умов утворення та руйнування кавернозних глинисто-шламових відкладень і їх основних властивостей.

При проведенні стендового моделювання процесу шламоскупчення в кавернах застосовувалися склади шламів, характерні для практики шарошкового буріння в породах середньої твердості, гранулометрична характеристика яких приведена в табл. 1.

Таблиця 1 - Гранулометричний склад досліджених груп шламів

Група фракційного складу шламу	Інтервал зміни розмірів часток шламу (від...до), мм						
	0,5...1	1...2	2...3	4...6	6...8	8...10	понад 10
	Склад досліджених фракційних груп шламів, %						
I	10	10	20	20	20	10	10
II	15	25	10	–	10	25	15
III	15	35	–	–	–	30	20

В результаті досліджень встановлено наступне: міра впливу на нього гранулометричного складу продуктів руйнування визначається як розмірами окремих фракцій, так і їх відсотковим вмістом в загальній кількості. У міру збільшення діаметральних розмірів каверни зростає значення кута укосу відкладень φ , що формуються в результаті свердловинних циркуляційних процесів, досягаючи 60 і більше градусів (рис. 4).

Полізернистий склад шламу забезпечує кавернозним скупченням досягнення, з часом, практично граничного значення кута укосу φ .

У міру виключення із складу середніх фракцій і збільшення вмісту дрібних, інтенсивність зростання кута φ значно знижується і практично стабілізується, що виражається в коливанні значень φ навколо деякого середнього значення і досить незначному зростанні протягом тривалих інтервалів часу.

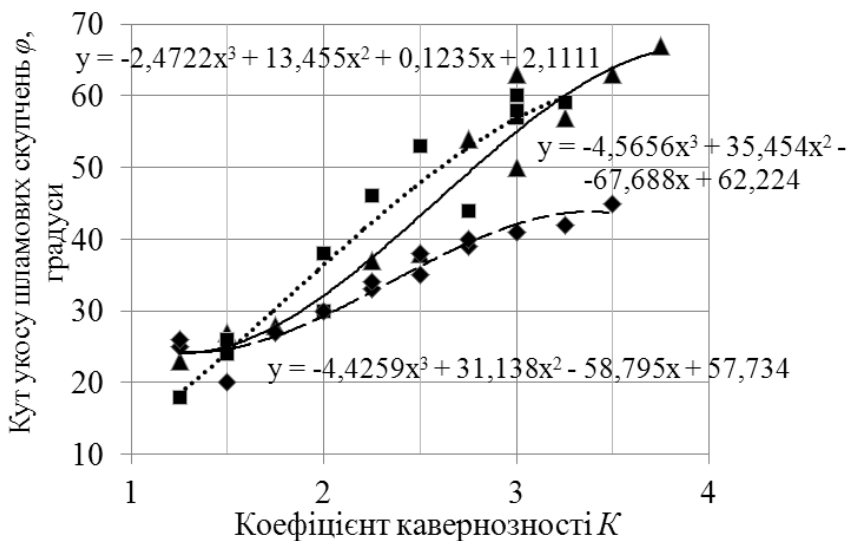


Рисунок 4 – Залежність між коефіцієнтом кавернозності K і кутом укосу скупчень φ для різних груп шламів: ▲ - Група I; ■ - Група II; ◆ - Група III

Такий параметр як густина і залежна від нього реологічна характеристика в'язкість – є тими властивостями промивальної рідини, чисельні значення яких зазнають змін в процесі її циркуляції стовбуром свердловини. З даних рис. 5

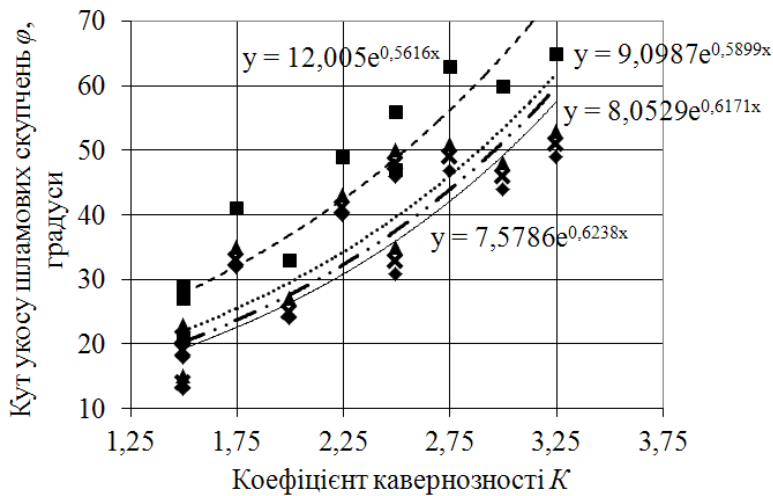


Рисунок 5 – Залежність між коефіцієнтом кавернозності K і кутом укосу скупчень φ для розчинів змінної густини: \blacklozenge - $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$; \times - $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$; \blacktriangle - $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$; \blacksquare - $\rho = 1300 \text{ кг/м}^3$

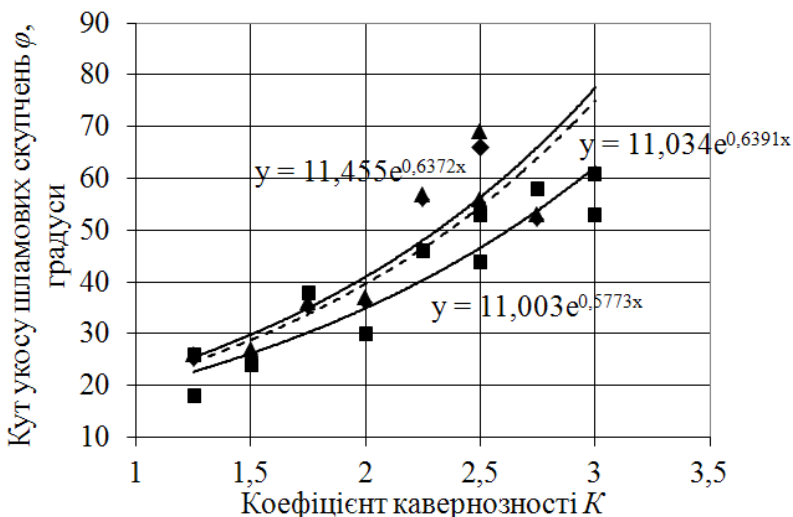


Рисунок 6 – Залежність між коефіцієнтом кавернозності K і кутом укосу скупчень φ для умов застосування промивальних рідин, приготованих на основі глин різного мінералогічного складу: \blacktriangle - каолінова; \blacklozenge - гідрослюдяна; \blacksquare - бентонітова

значеннями кута укосу φ , становить: для поліфракційного складу шламу $T_\varphi = 25 - 200$ хв із зростанням φ від 10^0 до граничних 70^0 ; для монофракційного $T_\varphi = 25 - 50$ хв з граничним $\varphi = 40^0$;

– при використанні глинистих бурових розчинів з густиною $\rho = 1100 - 1300 \text{ кг/м}^3$ значення φ не перевищують 50^0 ; для розчинів зниженої густини ($\rho \leq 1100 \text{ кг/м}^3$) φ досягає значень 70^0 .

видно, що з підвищенням густини промивальної рідини значення кута укосу φ експоненціально збільшується.

Залежності, зображені на рис. 6 є результатами досліджень впливу на процес шламоскупчення в кавернах дисперсної фази промивальної рідини, представлені різними типами глинистих матеріалів. З них чітко впливає існування залежності кута укосу від мінералогічного складу глини: чим нижче якість дисперсної фази (міра колоїдності), тим вище значення параметра φ .

Виходячи з аналізу результатів досліджень процесу шламоскупчення в кавернозних зонах можна зробити наступні висновки:

– інтегральною характеристикою міри заповнення каверн є кут укосу шламових відкладень φ , який виступає похідною гранулометричного складу шламу, швидкості висхідного потоку, що несе його та потужності каверн;

– тривалість часу формування кавернозних відкладень T_φ з граничними значеннями

Четвертий розділ присвячений дослідженню конструктивних та технологічних параметрів пристрою для підготовки стовбура свердловини.

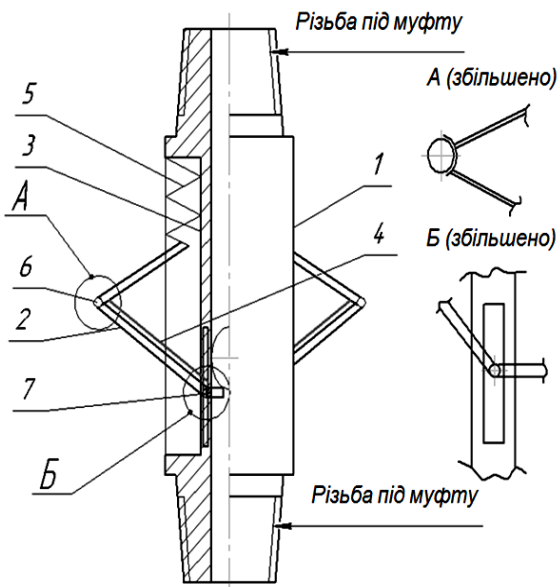


Рисунок 7 – Схема пристрою для обробки стовбура свердловини

Конструкція розробленого пристрою (рис. 7) містить циліндричний корпус 1 і шарнірні механізми 2 з лопатями 4. У зовнішній поверхні стінок корпусу виконані два діаметрально протилежних паза 3 для розміщення відповідних шарнірних механізмів, верхні кінці яких пов'язані з пружинами 5, призначеними для їх розкриття (закриття) відносно корпусу. У замковому елементі 7 розміщено два, пов'язаних з нижніми кінцями шарнірних механізмів, повзунки із можливістю переміщення уздовж внутрішньої стінки відповідного паза. Наявністю пружини створюється необхідне притиснення сферичної направляючої 6, призначеної для забезпечення рухливого контакту відносно стінок стовбура свердловини.

При потраплянні в кавернозний інтервал шарнірні механізми з лопатями розкриваються за рахунок пружини і за допомогою обертання бурової колони здійснюють радіальний рух навколо осі пристрою. Під дією лопатей в місцевих розширеннях стовбура свердловини виникають спрямовані потоки рідини, які впливають на кавернозні глинисто-шламові скупчення.

Очевидно, що абсолютна швидкість c в області лопатевого механізму, яка викликається його роботою, може бути представлена у вигляді складових – осьової c_o , тангенціальної c_T , радіальної c_p . В результаті проведення стендових досліджень з вивчення впливу форми лопаті на гідромеханічні характеристики потоку, деталізовано розподіл складових його абсолютної швидкості (табл. 2), причому, під коефіцієнтом перекриття K_n мається на увазі відношення відстані між віссю обертання пристрою і контрольованою точкою до загальної довжини лопаті.

Очевидно, що абсолютна швидкість c в області лопатевого механізму, яка викликається його роботою, може бути представлена у вигляді складових – осьової c_o , тангенціальної c_T , радіальної c_p . В результаті проведення стендових досліджень з вивчення впливу форми лопаті на гідромеханічні характеристики потоку, деталізовано розподіл складових його абсолютної швидкості (табл. 2), причому, під коефіцієнтом перекриття K_n мається на увазі відношення відстані між віссю обертання пристрою і контрольованою точкою до загальної довжини лопаті.

Очевидно, що абсолютна швидкість c в області лопатевого механізму, яка викликається його роботою, може бути представлена у вигляді складових – осьової c_o , тангенціальної c_T , радіальної c_p . В результаті проведення стендових досліджень з вивчення впливу форми лопаті на гідромеханічні характеристики потоку, деталізовано розподіл складових його абсолютної швидкості (табл. 2), причому, під коефіцієнтом перекриття K_n мається на увазі відношення відстані між віссю обертання пристрою і контрольованою точкою до загальної довжини лопаті.

Таблиця 2 – Структура потоку при різних формах лопатевого органу пристрою

Тип лопаті	Складові абсолютної швидкості, %											
	осьова				радіальна				тангенціальна			
	c_o				c_p				c_T			
	Коефіцієнт перекриття											
	K_n											
	0,25	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	1
Пластинчата	6	4	3	1	11	9	5	3	83	87	92	96
Постійного кроку	26	23	20	18	72	65	36	30	2	12	44	52
Профільована	43	42	39	32	53	52	51	49	4	6	10	19
Гвинтова	75	74	68	57	23	22	28	31	2	2	4	12

Стендові дослідження характеру взаємодії потоку зі шламовими скупченнями для кожної з прийнятих форм лопатей дозволили встановити, що за рівні відрізки часу t , найбільше зниження кута φ спостерігається для гвинтової форми лопаті (рис. 8).

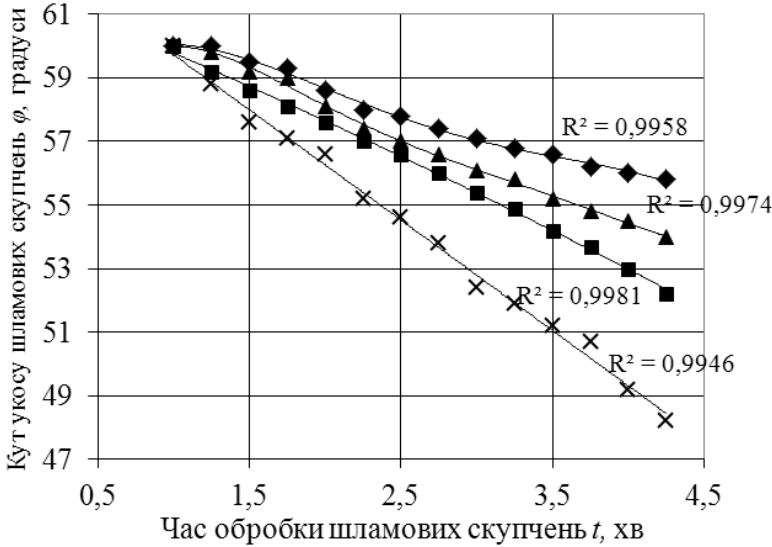


Рисунок 8 – Тривалість часу обробки шламових скупчень для різних форм лопатей: ◆ - пластинчаста; ▲ - постійного кроку; ■ - профільована; × - гвинтова

закономірностей взаємодії робочого органу пристрою для обробки стовбура свердловини з рідиною в інтервалі каверн.

При обертанні пристрою з числом оборотів n і кутовою швидкістю ω рідина (рис. 9) потрапляє на поверхню лопаті граничного радіусу R та змінного

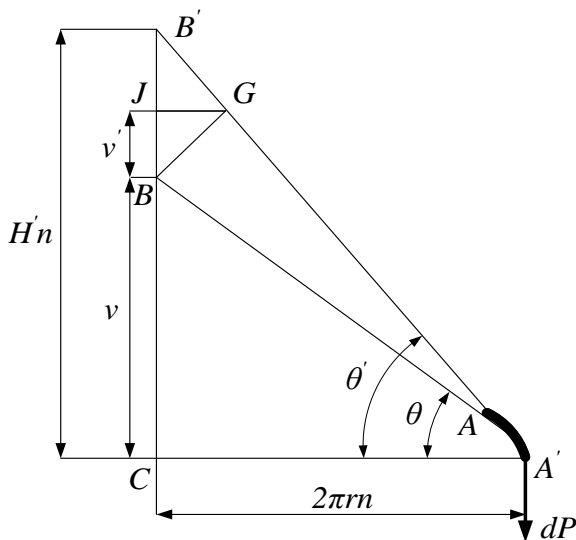


Рисунок 9 – Розрахункова схема взаємодії лопатевого елемента пристрою з рідиною

кроку $H = \frac{2\pi r}{ctg\theta}$ в точці A із поточним

радіусом r у напрямі лінії AB , який характеризує кроковий кут θ . В результаті зміни напрямку руху, викликаного гвинтовою формою лопаті, потік сходиться з неї в точці A' у напрямі $A'B'$, що визначається

кутом θ' та кроком $H' = \frac{2\pi r}{ctg\theta'}$. Згідно з

прийнятою схемою $\overline{CB} = \frac{2\pi r n}{ctg\theta} = v$ буде

осьовою складовою відносної швидкості потоку, що входить на лопать. Внаслідок реакції лопаті на потік, він набуде швидкості у напрямі GB з осьовою складовою

$$\overline{JB} = \frac{2\pi r n}{ctg\theta'} = v'.$$

Механічна дія викликаного потоку

$$dP = \rho 2\pi r dr \overline{CJ} v', \tag{1}$$

З проведених досліджень також випливає, що провідна роль в руйнуванні глинисто-шламових відкладень належить осьовій складовій абсолютної швидкості потоку, максимальні значення якої належать гвинтовій формі лопаті, за умов знаходженні величин кутів входу потоку на лопать в інтервалі $25^\circ \leq \theta \leq 35^\circ$ і кутів виходу $-50^\circ \leq \theta' \leq 65^\circ$.

П'ятий розділ присвячений викладенню результатів теоретичних, експериментальних і промислових досліджень

Сила дії потоку на кавернозні шламові скупчення збільшуватиметься в міру зростання v' , що відповідає умові $0^0 < \theta < \theta' < 90^0$. Для визначення механічної дії викликаного потоку введемо поняття про відношення швидкостей протікання

$$k_y = 1 - \frac{v}{nH'} \quad (2)$$

На підставі виконаних перетворень v і v' можуть бути представлені:

$$v = \frac{\omega r}{ctg \theta'} (1 - k_y) \quad (3)$$

та

$$v' = k_y nH' \cos^2 \theta' \quad (4)$$

Маса рідини, що протікає крізь лопатевий елемент та взаємодіє зі шламовими відкладеннями

$$dm = \rho 2\pi r dr \frac{2\pi r n}{ctg \theta'} (1 - k_y \sin^2 \theta') = \rho n H' (1 - k_y \sin^2 \theta') 2\pi r dr \quad (5)$$

Після відповідних обчислень (1) в диференціальній формі набуде вигляд

$$dP = \rho n^2 H'^2 k_y (1 - k_y \sin^2 \theta') \cos^2 \theta' 2\pi r dr \quad (6)$$

Привівши (6) до інтегральної форми, маємо:

$$P = \int_{r=0}^{r=R} \rho n^2 H'^2 k_y (1 - k_y \sin^2 \theta') \cos^2 \theta' 2\pi r dr \quad (7)$$

За допомогою підстановки $y = ctg \theta' = \frac{2\pi r}{H'}$ з необхідними перетвореннями підінтегральних змінних та інтегрування у вказаних межах, отримаємо:

$$P = \rho n^2 H'^4 \frac{y_0^2 k_y}{4\pi} \left(1 - \frac{\ln(1 + y_0^2)}{y_0^2} - k_y \left(\frac{\ln(1 + y_0^2)}{y_0^2} - \frac{1}{1 + y_0^2} \right) \right) \quad (8)$$

Здійснивши заміни $y_0 = \frac{2\pi r}{H'} = \frac{\pi D}{H'}$, $\frac{\pi}{4} \left(1 - \frac{\ln(1 + y_0^2)}{y_0^2} \right) = a$ та

$\frac{\pi}{4} \left(\frac{\ln(1 + y_0^2)}{y_0^2} - \frac{1}{1 + y_0^2} \right) = b$ маємо остаточно наступне рівняння для визначення сили механічної дії викликаного потоку

$$P = (nH'D)^2 \rho k_y (a - bk_y) \quad (9)$$

На рис. 10 зіставляються розрахункові та експериментальні значення P для умов $\theta = 25^0$, $\theta' = 60^0$ і $\rho = 1000$ кг/м³.

Аналітичне рівняння (9) цілком задовільно описує характер зміни P в інтервалі $25 \leq n \leq 250$. Для інших значень θ і θ' з раціонального діапазону вказана тенденція в цілому зберігається.

Зважаючи на наявність раціонального діапазону конструктивних параметрів лопатевого елемента (зокрема кутів θ), були проведені стендові дослідження сили дії викликаного потоку на кавернозні скупчення, яку можна виразити також через інтегральний показник – мінімально необхідний час обробки t .

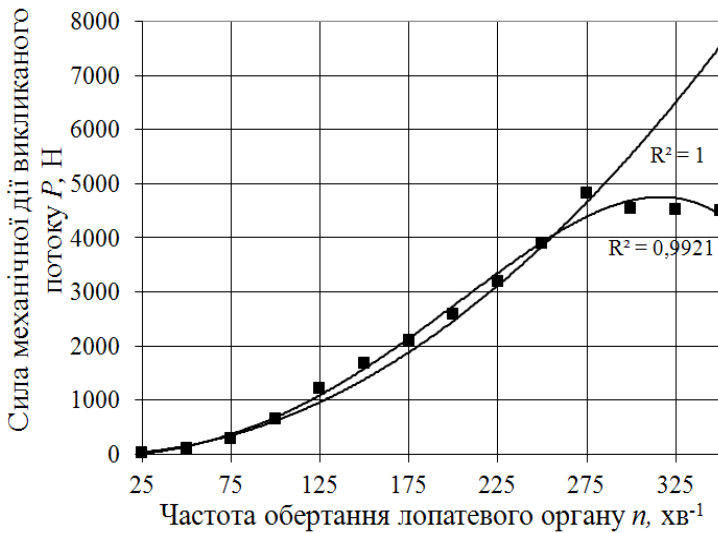


Рисунок 10 – Зіставлення значень сили дії викликаного потоку: - - аналітичні; ■ - експериментальні

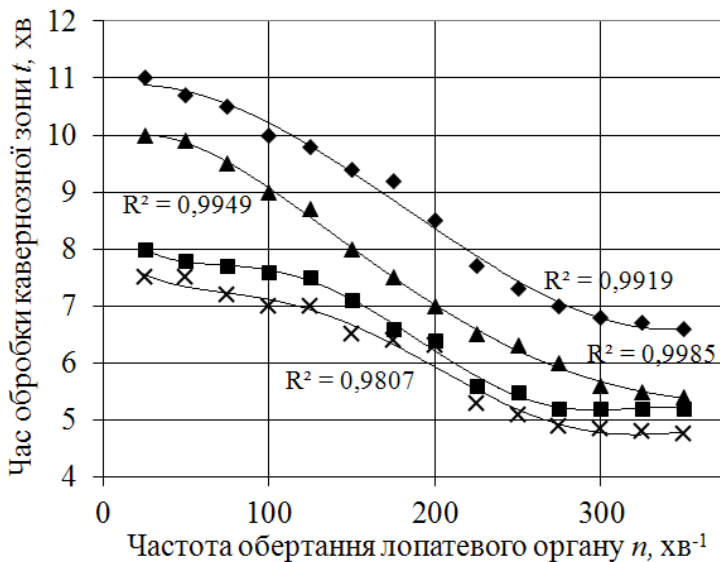


Рисунок 11 – Час обробки кавернозного інтервалу при змінному значенні кута укосу скупчень: ◆ - $\varphi = 30^\circ$; ▲ - $\varphi = 40^\circ$; ■ - $\varphi = 55^\circ$; ✕ - $\varphi = 65^\circ$

Таблиця 3 – Результати промислових досліджень роботи пристрою

Компонування бурильної колони	Швидкість висхідного потоку рідини, м/с	Частота обертання пристрою n , хв^{-1}	Властивості промивальної рідини на виході з циркуляційної системи		
			Густина ρ , кг/м^3	В'язкість T , с	Вміст шламу Π , %
Бурильні труби з комплектом ОБТ і долотом	1,2	100	1150	48	3,2
		150	1160	51	3,5
Стандартне з пристроєм	1,2	100	1180	61	5,7
		150	1210	68	6,9

В цілому результати випробувань є підтвердженням висунених теоретичних положень та дозволяють зробити наступний висновок: вміст шламу Π у висхідному потоці промивальної рідини зростає в середньому на 50 - 60%, показники густини ρ і в'язкості T – на 15 - 20%, в порівнянні з базовими, отриманими без застосування у складі комплектування бурильної колони пристрою.

Крім того, узагальнення отриманих результатів досліджень дозволяє прогнозувати підсумки підготовчих заходів.

З даних рис. 11 видно, що із зменшенням кута φ і частоти обертання пристрою n умови видалення відкладень погіршуються; за межами раціонального діапазону n процес обробки каверн відбуватиметься на режимах, які не забезпечать оперативне досягнення прийнятних показників.

Виробничі випробування пристрою підтвердили встановлені теоретичні і стендові характеристики, які свідчать про наявність стійкої гідромеханічної дії лопатевого органу на кавернозні скупчення. В якості прикладу в табл. 3 представлено фрагмент порівняльного аналізу результатів промислових досліджень пристрою при обробці стовбура свердловини, який був ускладнений наявністю каверн з потужними глинисто-шламовими відкладеннями, що було з'ясовано під час поглиблення свердловини та в процесі її геофізичних досліджень.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень **вирішена актуальна наукова задача**, що полягає в обґрунтуванні основних параметрів пристрою для підготовки стовбура свердловини до цементування обсадної колони, у вигляді конструктивних: кількості лопатей його робочого органу, їх геометрії, розмірів і форми просторового положення та технологічного: сили дії потоку промивальної рідини на глинисто-шламові відкладення в кавернах, яка знаходиться в квадратичній залежності від діаметру, частоти обертання робочого органу і кроку гвинтової лінії лопаті та лінійній від густини промивальної рідини і відношення швидкостей її протікання, які дозволяють забезпечити стійку гідромеханічну дію на шламові відкладення та отримати зростання показників виводу шламу з кавернозних інтервалів на 50 - 60%.

Основні науково-практичні результати роботи.

1. За результатами аналізу патентів і літературних джерел встановлено, що саме кавернозність є основним фактором різкого зниження якості цементного каменю в затрубному просторі стовбура свердловини, а на підставі узагальнення теоретичних і лабораторних досліджень показано, що основою ефективної технології підвищення результативності процесу цементування свердловин є видалення глинисто-шламових відкладень з каверн спеціальними пристроями, або переведення їх в інертний стан.

2. Вивчено вплив глинисто-шламових відкладень на технологічні властивості цементного розчину і каменю, для яких наявність концентрації глинистої фракції в межах від 2 до 40%, збільшення водоцементного співвідношення від 0,4 до 0,6 і проникнення часток шламу розміром від 2 до 10 мм, призводить до зростання термінів тужавіння цементного розчину (тіста) в 1,25 - 1,35 рази, збільшення інтервалу зростання пластичної міцності на 100 - 150 хв, падіння міцності від 8 до 60% та підвищення ступеню тріщиноутворення.

3. Визначено, що інтегральною характеристикою ступеню заповнення каверн є величина кута укошу шламових відкладень φ , яка знаходиться в межах від 30 до 60 градусів, досягаючи граничних 70 градусів та виступає похідною коефіцієнта кавернозності K , фізико-хімічних властивостей глинистої фракції порід, що перетинаються свердловиною і дисперсної середою промивальної рідини, гранулометричного складу шламу, швидкості висхідного потоку, що несе його та потужності каверни.

4. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано принципово нові конструкції пристроїв підготовки стовбура свердловини до цементування обсадної колони, зокрема з лопатевим робочим органом, новизна яких підтверджена патентами України на винаходи.

5. Встановлено, що найбільш раціональною формою лопаті в пристрої підготовки стовбура свердловини до цементування з позицій створення осьової складової швидкості потоку, є гвинтова, для якої вона знаходиться в межах 60-75% від абсолютної швидкості потоку c в області лопатевого органу.

6. Теоретично і експериментально доведено, що сила дії потоку на глинисто-шламові відкладення знаходиться в квадратичній залежності від діаметру, частоти обертання робочого органу пристрою і кроку гвинтової лінії лопаті та лінійній від густини промивальної рідини і відношення швидкостей її протікання, за умов знаходження величин кутів входу потоку на лопать в інтервалах $25^{\circ} \leq \theta \leq 35^{\circ}$, кутів виходу – $50^{\circ} \leq \theta' \leq 65^{\circ}$ та частоти обертання пристрою – $25 \leq n \leq 250$.

7. Виробничими випробуваннями підтверджено наявність стійкої гідромеханічної дії пристрою на кавернозні скупчення, про що свідчить зокрема зростання: вмісту шламу Π у висхідному потоці промивальної рідини в середньому на 50 - 60%, показників густини ρ і в'язкості T на 15 - 20%, в порівнянні з базовими, отриманими без застосування у складі компонування бурильної колони пристрою підготовки стовбура свердловини до цементування обсадної колони.

Наукові результати і положення дисертації опубліковані в 26 роботах, основні з яких:

1. Кожевников А.О. Аналітичні дослідження швидкості осідання частинок шламу при бурінні свердловин // А.О. Кожевников, А.О. Ігнатов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. / ИСМ НАН Украины. – К., 2005. – Вып. 8. – С. 52 – 57.

2. Давиденко А.Н. Усовершенствование устройства для обработки ствола скважины / А.Н. Давиденко, А.А. Ігнатов, В.В. Яцык // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2008. – № 4. – С. 36 – 37.

3. Давиденко О.М. До питання про вдосконалення пристроїв для оброблення стовбура свердловини // О.М. Давиденко, А.О. Ігнатов, І.І. Кутепов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. / ИСМ НАН Украины. – К., 2010. – Вып. 13. – С. 99 – 103.

4. Давиденко А.Н. Прямая и обратная схема очистки при бурении скважин: монографія / А.Н. Давиденко, А.А. Ігнатов, Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т». – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2012. – 101 с.

5. Ігнатов А.А. Аналитическое исследование механизма действия устройства очистки ствола скважины // А.А. Ігнатов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. / ИСМ НАН Украины. – К., 2015. – Вып. 18. – С. 74 – 78.

6. Давиденко А.Н. К вопросу о необходимости обработки кавернозных зон скважин // А.Н. Давиденко, Б.Т. Ратов, А.А. Ігнатов // Вестник Казахского Национального исследовательского технического университета: сб. науч. тр. – Алматы, 2016. – Вып. 2 (114). – С. 139 – 147.

7. Ігнатов А.А. Исследование параметров процесса удаления глинисто-шламовых образований из кавернозных зон скважин / А.А. Ігнатов // Mining of Mineral Deposits: зб. наук. праць. – Д., 2016. – Вып. 1(10). – С. 63 – 68.

8. Давиденко А.Н. О силовом взаимодействии потока жидкости с подвижным каверном при работе устройства по очистке ствола скважины // А.Н. Давиденко, Б.Т. Ратов, А.А. Игнатов А.Т. Тулепбергенов // Новости науки Казахстана: сб. науч. тр. – Алматы, 2016. – Вып. 2 (128). – С. 133 – 145.

9. Игнатов А.А. Технологические характеристики устройства по очистке ствола скважины / А.А. Игнатов // Mining of Mineral Deposits: зб. наук. праць. – Д., 2016. – Вып. 2(10). – С. 85 – 90.

10. Давиденко А.Н. Изучение свойств глинисто-шламовых скоплений применительно к работе устройства по очистке каверн / А.Н. Давиденко, Б.Т. Ратов, А.А. Игнатов, Д.Р. Каргасбеков, А.Б. Идирисов // Геология и охрана недр. Казахстан. – 2016. – № 4. – С. 41 – 47.

11. Давиденко А.Н. Определение основных расчетных и экспериментальных параметров устройства по очистке ствола скважины / А.Н. Давиденко, Б.Т. Ратов, А.А. Игнатов // Mining of Mineral Deposits: зб. наук. праць. – Д., 2016. – Вып. 3(10). – С. 52 – 58.

12. Игнатов А.А. Характеристика рабочих параметров устройства по подготовке скважин к креплению / А.А. Игнатов // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – № 4. – С. 82 – 86.

13. Игнатов А.А. Исследования строения глинисто-шламовых кавернозных скоплений при бурении глубоких скважин / А.А. Игнатов // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – № 5. – С. 91 – 96.

14. Davidenko A. Basic results of researches of lining and plugging processes at wells construction / A. Davidenko, A. Ighnatov // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – Volume 9. – pp. 58 – 64. (**наукометрична база Index Copernicus**)

15. Пат. 90541 № а200805093 Україна, МПК Е 21 В 37/02. Пристрій для обробки стовбура свердловини / О.М. Давиденко, А.О. Ігнатов, В.В. Яцик; Заявл. 21.04.08; Опубл. 26.10.09; Бюл. № 20.

16. Пат. 97996 № а201002233 Україна, МПК Е 21 В 37/02. Пристрій для обробки стовбура свердловини / А.О. Ігнатов, І.І. Кутепов; Заявл. 01.03.10; Опубл. 10.04.12; Бюл. № 7.

17. Пат. 98034 № а201009686 Україна, МПК Е 21 В 37/02. Пристрій для обробки стовбура свердловини / А.О. Ігнатов, І.І. Кутепов; Заявл. 02.08.10; Опубл. 10.04.12; Бюл. № 7.

18. Давиденко А.Н. Основы работы устройства поинтервальной очистки скважин механического типа / А.Н. Давиденко, А.А. Игнатов // Вібрації в техніці і технологіях: матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Полтава, 23-25 квіт. 2012 р. – Полтава, 2012. – С. 44 – 50.

19. Ігнатов А.О. Деякі теоретичні основи роботи приладу поінтервального очищення свердловин / А.О. Ігнатов, Д.Ю. Ігнатенко // Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Івано-Франківськ, 05-07 лист. 2012 р. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 93 – 97.

20. Игнатов А.А. Изучение распределения скоростей и усилий при работе устройства по обработке ствола скважины в кавернозной зоне / А.А. Игнатов // Форум гірників: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Дніпропетровськ, 30 вер.-03 жовт. 2015 р. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 109 – 113.

Особистий внесок здобувача в роботи, опубліковані в співавторстві:

[1, 4] – досліджено питання технології очищення забою та стовбура свердловини; [2, 3] – обґрунтована необхідність підвищення якості обробки стовбура свердловини на етапі підготовчих робіт до цементування обсадної колони та сформульовано їх основні завдання; [6] – досліджено умови формування цементного каменю в кавернозному стовбурі свердловини; [8, 11] – вивчено питання взаємодії пристрою для обробки із кавернозними відкладеннями; [10, 14] – встановлено закономірності утворення кавернозних глинисто-шламових відкладень та їх впливу на показники цементувальних робіт; [18] – визначено параметри руху потоку промивальної рідини крізь лопатеву систему пристрою; [15-17, 19] – обґрунтовано раціональні конструктивні характеристики пристроїв для обробки стовбура свердловини та розглянуто особливості взаємодії їх виконавчих органів із глинисто-шламовими відкладеннями.

АНОТАЦІЯ

Ігнатов А.О. Обґрунтування параметрів технології і технічних засобів підготовки стовбура свердловини до цементування обсадної колони. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.10 – Буріння свердловин. – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», м. Дніпро, 2017.

На підставі аналізу та узагальнення лабораторних та промислових досліджень доведено, що кавернозність є головним чинником зниження якості цементного каменю в затрубному просторі стовбура свердловини. Визначено напрямки вдосконалення процесу цементування свердловин, серед яких найбільш ефективними є видалення або переведення в інертний стан глинисто-шламових кавернозних відкладень.

Розглянуто вплив глинисто-шламових відкладень на технологічні властивості цементного розчину та показники міцності цементного каменю. Виявлено характер дії кожного з чинників, які визначають спрямованість і хід процесу формування кавернозних відкладень. Встановлено, що інтегральною характеристикою ступеню заповнення каверн є величина кута укусу шламових відкладень.

Запропоновано принципово нові конструкції пристроїв підготовки стовбура свердловини до цементування обсадної колони, зокрема з лопатевим робочим органом. За результатами стендових і теоретичних досліджень обґрунтовано необхідність застосування гвинтової поверхні для утворення контуру лопаті і визначено її основні раціональні геометричні параметри. Встановлено дійсні форми руху потоку рідини крізь лопатеву систему та його взаємодії із глинисто-шламовими кавернозними відкладеннями. Проведені виробничі випробування підтвердили достовірність встановлених теоретичних і стендових характеристик пристрою для підготовки стовбура свердловини до цементування.

Ключові слова: свердловина, каверна, глинисто-шламові відкладення, пристрій для обробки, промивальна рідина, лопать, швидкість потоку.

АННОТАЦИЯ

Игнатов А.А. Обоснование параметров технологии и технических средств подготовки ствола скважины к цементированию обсадной колонны. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.10 – Бурение скважин. – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепр, 2017.

На основании анализа и обобщения лабораторных и промышленных исследований показано, что наиболее распространенным видом осложнений, при бурении скважин в породах осадочного комплекса, является образование каверн – объектов накопления шламового материала и формирования глинисто-шламовых отложений.

Показано, что в случае явно выраженной кавернозности, в процессе закачивания цементного раствора в затрубное пространство, наблюдается его активное смешивание с глинисто-шламовыми отложениями, которые находятся в кавернах, приводящее к резкому негативному изменению всех физико-механических свойств цементного камня.

Вследствие наличия тесной связи между присутствием глинисто-шламовых отложений в кавернозных интервалах ствола скважины и снижением качества цементного камня, образывающегося в результате твердения цементного раствора, исследовано влияние глинистой фазы на величину сроков его схватывания, показатели которых возрастают в 1,25 – 1,35 раза при одновременном увеличении продолжительности интервалов нарастания пластической прочности, в сравнении с базовыми значениями, полученными на основании исследования незагрязненного цементного раствора (теста); кроме того, для рассматриваемых условий показатели водоотдачи возрастают на 30 – 40%, а дополнительная химическая обработка раствора позволяет снизить абсолютные значения показателей водоудерживающей способности не более чем на 18 – 20% при одновременном уменьшении скорости фильтрации на 25 – 30%. Установлено, что величина прочности при одноосном нагружении в случае обогащения цементного камня бентонит-иллитовой глинистой фракцией снижается на 10 – 50%, а каолиновой – от 30 до 60%.

Установлено, что интегральной характеристикой степени заполнения каверн является величина угла откоса шламовых скоплений, которая находится в пределах от 30 до 60 градусов, достигая предельных 70 градусов и выступает в качестве производной физико-химических свойств глинистой фракции, гранулометрического состава продуктов разрушения, скорости восходящего потока промывочной жидкости, несущей шлам, а также мощности кавернозного интервала.

Определены направления совершенствования процесса цементирования скважин, среди которых наиболее эффективными являются удаление или перевод в инертное состояние глинисто-шламовых кавернозных отложений, в связи с чем предложены принципиально новые конструкции устройств подготовки ствола скважины к цементированию обсадной колонны, в частности с лопастным рабочим органом.

По результатам стендовых и теоретических исследований обоснована необходимость применения винтовой поверхности для образования контура лопасти и определены ее основные рациональные геометрические параметры. Установлены действительные формы движения потока жидкости сквозь лопастную систему и его взаимодействия со шламовыми отложениями. Аналитически и экспериментально доказано, что механическое воздействие вызванного потока на глинисто-шламовые отложения находится в квадратичной зависимости от частоты вращения устройства для подготовки ствола скважины, шага винтовой линии, положенной в основу образования лопастного элемента, а также его диаметрального размера и линейной от плотности жидкости и соотношения скоростей ее протекания. Проведенные производственные испытания подтвердили достоверность установленных теоретических и стендовых характеристик устройства для подготовки ствола скважины к цементированию обсадной колонны.

Ключевые слова: скважина, каверна, глинисто-шламовые отложения, устройство для обработки, промывочная жидкость, лопасть, скорость потока.

The summary

Ighnatov A.O. Substantiating parameters of technology and technical equipment for preparation of barrel of bore hole to cementation of column. – Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Science, speciality 05.15.10 – Drilling of holes. – State higher educational institution «National Mining University», Dnipro, 2017.

On the basis of analysis and generalization of laboratory and industrial research, it is proven that rugosity is the main factor of cement stone quality decline in the clearance of a borehole. We have defined the directions for improving the process of borehole cementation, among which the most effective is removal of clay-slime vuggy agglomerates or their transition into inert state. The influence of clay-slime agglomerates on technological properties of cement solution and indexes of cement stone durability is considered. The character of each factor impact determining orientation and the course of vuggy agglomerates formation process has been detected. It is established that the value of clay-slime agglomerates slope angle is an integral parameter of the dental work degree.

The fundamentally new designs (with the bladed working member in particular) of devices for preparation of the borehole for casing column cementation are proposed. The results of stand and theoretical research allowed substantiating of the necessity to apply the tilted surface to form the blade contour and determining of its principal rational geometric parameters. The actual patterns of the fluid flow through the blade system and its interaction with clay-slime agglomerates have been determined.

The conducted industrial tests verified the credibility of the defined theoretical and stand characteristics of the device for preparation of the borehole for cementation.

The keywords: bore hole, vuggy, clay-slime agglomerates, device for processing, drilling fluid, blade, flowrate.

Ігнатов Андрій Олександрович

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ
ПІДГОТОВКИ СТОВБУРА СВЕРДЛОВИНИ ДО ЦЕМЕНТУВАННЯ
ОБСАДНОЇ КОЛОНИ**

(Автореферат)

Підписано до друку 05.09.17. Формат 60×90/16.

Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9

Обл.-вид. арк. 1,0 Тираж 100 прим. Зам. № 522

Віддруковано в «Поліграфцентрі» ФОП Кучугурний Ю.М.,
Свідоцтво про державну реєстрацію № 2 224 000 0000 073863,
м. Дніпро, вул. Воскресенська, 11, 49000,
тел. (056) 735-50-08