

622.244
К18

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Камишацький Олександр Федорович



УДК 622.24

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЮ ДЛЯ
ОБРОБКИ ПРОМИВАЛЬНИХ РІДИН ПРИ БУРІННІ СВЕРДЛОВИН

05.15.10 – Буріння свердловин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі техніки розвідки родовищ корисної копалини Державного ВНЗ «Національного гірничого університету» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Давиденко Олександр Миколайович,
Державний ВНЗ «Національний
гірничий університет»,
завідувач кафедри техніки розвідки
родовищ корисних копалин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Чернов Борис Олександрович,
Івано-Франківський національний
технічний університеті нафти і газу,
професор кафедри загальної та прикладної
фізики

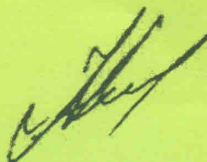
кандидат технічних наук, доцент
Тершак Богдан Андрійович,
ПАТ «Укрнафта», м. Київ,
начальник управління контролю
робіт із спорудження свердловин

Захист відбудеться «16» жовтня 2014 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий «29» серпня 2014 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент



І.М.Ковбасюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Промивальна рідина розглядається як невід'ємний елемент технології буріння свердловин. Від якості і відповідності промивальних розчинів геолого-технічним умовам залежать швидкість буріння, запобігання аваріям і ускладненням, отримання якісного ядерного матеріалу, зносостійкість бурового устаткування, інструменту і вартість спорудження свердловини. Загальна частка витрат на їх приготування складає від 5 до 14 % вартості проходки свердловин. До промивальних рідин пред'являються вимоги з урахуванням комплексу геологічних технологічних і організаційних чинників, що обумовлює певні вимоги до використовуваних для приготування рідин машин, принципу дії, продуктивності і багато чому іншому, що викликає необхідність їх модернізації і удосконалення.

Основна частина (до 80%) промивальних рідин, вживаних при бурінні свердловин, має тверду дисперсну фазу, а у 60 % основним компонентом дисперсної фази є глина. Це пов'язано з тим, що такі промивальні рідини відповідають більшості вимог, що пред'являються до них з погляду виконання покладених функцій.

Різноманітність, а іноді і суперечність вимог до промивальних рідин, нестійкість геолого-технічних умов буріння свердловин викликають необхідність застосування у кожному конкретному випадку промивальних рідин з певними технологічними властивостями, які і визначають їх функціональність.

Необхідність розробки технології приготування промивальних рідин з використанням нових перспективних пристроїв, що реалізують процес диспергування дисперсної фази і визначають актуальність проведених досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

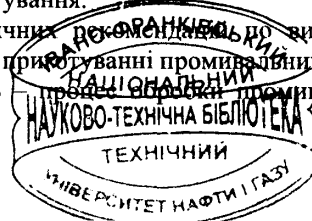
Дисертаційна робота пов'язана з науковим напрямом кафедри техніки розвідки родовищ корисної копалини Національного гірничого університету і є складовою частиною наукових досліджень, виконаних за темою 040331 «Проектування технології і науково-технічний супровід буріння гідрогеологічних свердловин в Харківській, Полтавській, і Запорізькій областях».

Мета і задачі дослідження. Мета досліджень полягає в обґрунтуванні параметрів пристрою для обробки промивальних рідин при бурінні свердловин і розробці технічних рішень, які забезпечать підвищення техніко-економічних показників буріння свердловин.

Для досягнення сформульованої мети поставлені і вирішені такі задачі.

1. Аналіз існуючих техніко-технологічних рішень у області приготування промивальних рідин з використанням гідродинамічної кавітації.
2. Теоретичні дослідження процесу кавітаційного диспергування.
3. Виконання експериментальних досліджень пристрою і технології кавітаційного диспергування.
4. Розробка методичних рекомендацій до використання кавітаційного пристрою при приготуванні промивальних рідин.

сень



an2455

Предмет досліджень – параметри пристрою для обробки промивальних рідин з використанням гідродинамічної суперкавітації.

Методи досліджень. При виконанні роботи застосовано комплексний метод досліджень, що включає обробку й узагальнення літературних та патентних джерел, проведення теоретичних, експериментальних досліджень та виробничу апробацію. При теоретичних дослідженнях використані елементи теорії гідродинаміки та суцільного середовища, а також методи математичного моделювання. Експериментальні дослідження містили у собі лабораторне моделювання процесу приготування промивальних рідин з використанням гідродинамічної суперкавітації. Оцінка їх результатів проводилась у виробничих умовах.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше введений параметр k_3 (коефіцієнт затискання потоку), що дозволяє управляти режимом роботи пристрою для обробки промивальних рідин при бурінні свердловин.
2. Вперше встановлена і експериментально підтверджена залежність частоти кавітаційних коливань від коефіцієнта затискання потоку k_3 .
3. Вперше встановлена і експериментально підтверджена залежність часу диспергування від частоти кавітаційних коливань.
4. Вперше розроблена методика визначення геометричних і гідравлічних параметрів пристрою для обробки промивальних рідин при бурінні свердловин.

Наукові положення, що захищаються:

- частота кавітаційних коливань експоненціально залежить від коефіцієнта затискання потоку, раціональне значення якого знаходиться в межах 0,6 – 08;
- час диспергування прямо пропорційний числу циклів обробки, кількість яких зменшується по гіперболічному закону з ростом частоти кавітаційних коливань.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення полягає в розробці нової конструкції кавітаційного диспергатора для приготування промивальних рідин та методичних рекомендацій по його застосуванню при бурінні свердловин.

Розроблені методичні рекомендації по використанню кавітаційного диспергатора при приготуванні промивальних рідин, які були затверджені Державною геологічною службою України, застосовувались при бурінні свердловин Пошуково-зйомочною експедицією № 46 КП «Кіровгеологія» у м. Первомайську Миколаївської області.

Особистий внесок здобувача. Автор самостійно зробив огляд стану питання підвищення ефективності промивання свердловин за рахунок обґрунтування параметрів пристрою і технології для приготування промивальних рідин [2-4], сформулював задачі дослідження, наукові положення, виконав теоретичну частину роботи [5, 6], брав безпосередню участь у проведенні експериментальних досліджень [1, 9-14] і виробничих випробувань [1, 7, 8]. Зміст дисертації викладено автором особисто.

Апробація результатів дисертаційної роботи та її основні розділи докладені на науково-технічних конференціях «Нестеренківські читання» (Дніпропетровськ, 2000); «Епштейнівські читання» (Дніпропетровськ, 2004); «Породоруйнуючий і металообробний інструмент – техніка і технологія його виготовлення й застосування» (Київ, 2004; 2005, 2006, 2008, 2009).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано у 14 друкованих працях з яких 9 у фахових виданнях України (з них 4 без співавторів), 1 стаття в іноземному журналі, 2 патенти України та 2 доповіді конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновку. Робота викладена на 150 сторінках машинописного тексту і включає: 40 рисунків, 9 таблиць, список використаних джерел зі 90 найменувань і 5 додатків. Основна частина викладена на 115 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено актуальність роботи, поставлені мета та задачі досліджень, наукові положення та практичне значення одержаних результатів.

Перший розділ присвячений огляду і аналізу сучасних технологій приготування промивальних рідин.

Дослідженню технології приготування промивальних рідин з використанням ефекту гідродинамічної кавітації присвячені численні роботи Піліпенко В.В., Задонцева В.А., Манько І.К., Кнеппа Р., Біркгофа Р., Седова Л.І., Федоткина І.М., Немчина А.Ф., Перетяки П.В., Давиденко А.Н., Кожевникова А.О., Безсонова Ю.Д., Бражененко А.М., Сердюка М.І., Мінакова С.І., Яське Н.Н., Яхно О.М., Ковалю А.Д., Кудрявцева Б.Б., Піщенко Л.І. і багатьох інших авторів.

В значній мірі технологічні властивості промивальних рідин визначаються їх стійкістю, тобто збереженням в часі основних параметрів дисперсної системи: дисперсності (питомої поверхні) і рівномірного розподілу дисперсної фази в дисперсному середовищі (однакова густина за об'ємом).

Розрізняють кінетичну і агрегативну стійкість дисперсних систем. Під агрегативною стійкістю розуміють здатність частинок дисперсної фази чинити опір злиттю і тим самим утримувати певну дисперсність. Основні чинники, що впливають на агрегативну стійкість - добре вивчені, є взаємозв'язаними і включають: електричний і адсорбційно-сольватний бар'єри. Регулювання агрегативної стійкості здійснюється введенням у промивальну рідину спеціальних хімічних реагентів, які створюють на поверхні твердих частинок адсорбційно-гідратні оболонки, що і перешкоджає злиттю частинок при зіткненні. Підбір хімічних реагентів і характер утворення адсорбційно-гідратних оболонок залежить від хімічного і мінерального складу, як дисперсійного середовища, так і дисперсної фази. Таке регулювання агрегативної стійкості промивальних рідин є достатньо ефективним, проте має ряд недоліків: висока вартість хімічних реагентів, основна частина хімічних реагентів – екологічно небезпечні.

Під кінетичною стійкістю розуміють здатність дисперсних частинок утримуватися в зваженому стані під впливом їх броунівського руху, тобто стій-

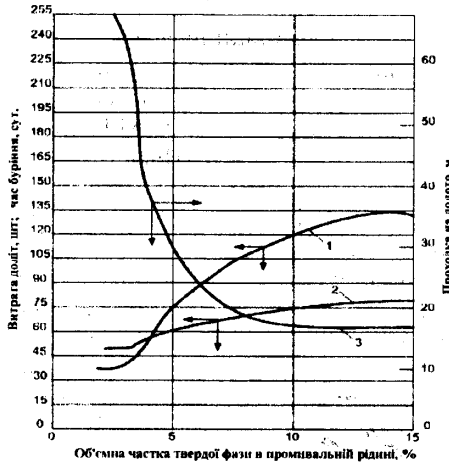
кість по відношенню до масово-гравітаційних сил. Окрім броунівського руху чинниками кінетичної стійкості є: дисперсність (найважливіший чинник – чим вище дисперсність, тим більше стійкість); в'язкість; різниця густини дисперсійного середовища і дисперсної фази.

Таким чином, найперспективнішим напрямом в приготуванні промивальних рідин, є отримання якісних систем з високою стійкістю.

При приготуванні промивальних рідин існуючими способами повної диспергації дисперсної фази в процесі приготування не відбувається. Внаслідок цього актуальність отримують процеси додаткового диспергування дисперсної фази промивальних рідин, використовуючи різні диспергатори. Процес диспергування дозволяє скоротити кількість твердої фази в промивальній рідині при заданих структурно-механічних властивостях. Чим нижче якість глини, тим значніше ефект диспергування.

На рис. 1 приведені залежності основних показників буріння від вмісту твердої фази в буровому розчині.

Існуючі диспергатори мають ряд недоліків: використання додаткової енергії на привід, значні гідравлічні втрати в струменевих диспергаторах і ін. У сучасних методах приготування промивальних рідин використовуються кавітаційні генератори, в основу роботи котрих покладене явище кавітації.



1 – витрата доліт; 2 – час буріння; 3 – проходка на долото

Рисунок 1 - Вплив твердої фази в буровому розчині на техніко-економічні показники буріння

Аналіз способів отримання кавітаційних коливань тиску рідини дозволив уточнити класифікацію пристроїв для генерації кавітаційних коливань (рис. 2). Як показав проведений огляд, найперспективнішою для приготування промивальних рідин є суперкавітація (СК), що виникає при обтіканні вісесиметричних тіл потоком рідини.

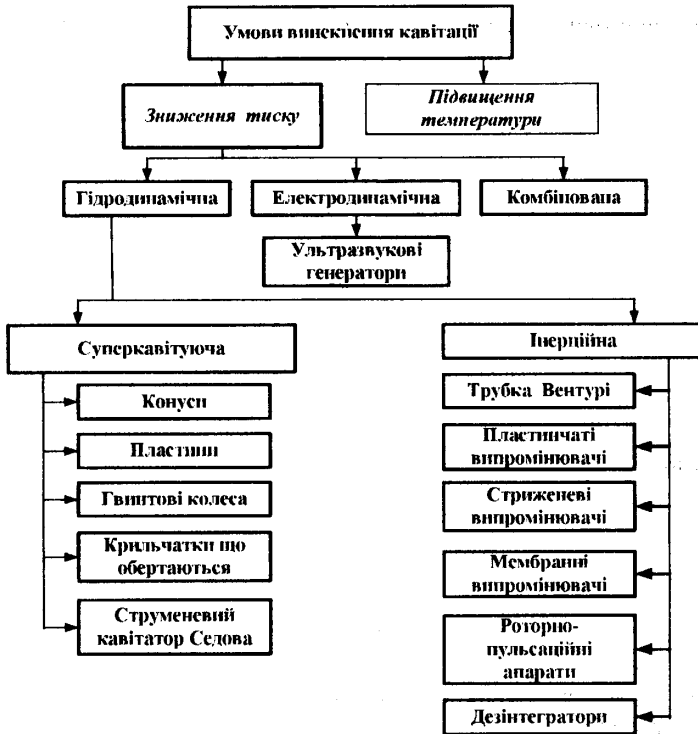


Рисунок 2 - Класифікація пристроїв для генерації кавітаційних коливань

Принцип дії СК- механізмів полягає у тому, що при обтіканні відповідного кавітатора утворюється суперкаверна, затискання якої відбувається безпосередньо в потоці достатньо далеко від робочих поверхонь апарату. Нестационарна хвостова частина каверни генерує поля кавітаційних мікропухирів, які при схлопуванні інтенсифікують процес диспергування. При цьому робочі поверхні апарату не піддаються кавітаційній ерозії і термін їх служби не залежить від режимів кавітаційної обробки. Визначальними чинниками ефекту є кількість і розміри кавітаційних пухирів, що утворюються.

Другий розділ присвячений теоретичним дослідженням процесу кавітаційного диспергування.

Схема для розрахунку основних параметрів кавітаційного диспергатора приведена на рис. 3.

Для розрахунку основних параметрів кавітаційного диспергатора вирішимо спільно рівняння Бернуллі і рівняння нерозривності для перетинів 0-0 і 1-1.

$$H = P_0 + \frac{\rho \cdot V_0^2}{2} = P_1 + \frac{\rho \cdot V_1^2}{2} + \Delta h_{0-1}, \quad (1)$$

де H – тиск що розвиває насос; ρ – густина промивальної рідини; Δh_{0-1} – втрати тиску в конфузурі;

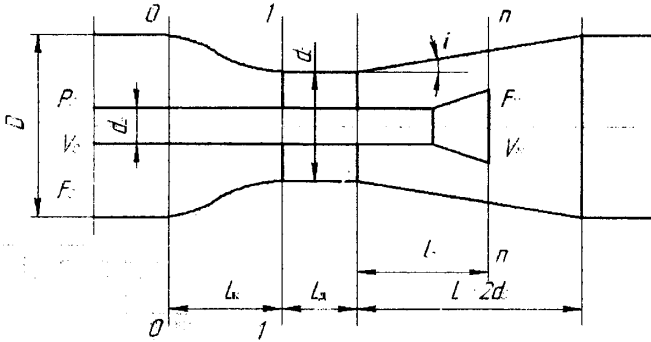


Рисунок 3 - Схема розрахунку кавітаційного диспергатора

$$Q_0 = Q_1 = Q_i, \quad V_0 F_0 = V_1 F_1 = V_i F_i, \quad (2)$$

де F_0, F_1, F_i – відповідні площі перетинів, $F_i = F_1 - F_{ш}$, де $F_{ш}$ – площа перетину направляючого штока,

$$\Delta h_{0-1} = \frac{\xi_k \cdot \rho \cdot V_1^2}{2}, \quad (3)$$

де ξ_k – коефіцієнт гідравлічних втрат в конфузурі.

При переході від широкої частини конфузуратора до вузької відбувається падіння тиску, для зниження перепаду тиску конфігурація конфузуратора повинна мати вид синусоїди. Довжину конфузуратора слід вибирати рівної діаметру труби в перетині 0-0 (рис. 3). Кут нахилу дифузуратора приймається з умови відсутності кавітації на стінках генератора, відповідно до рекомендацій кут нахилу дифузуратора складає: $\gamma \leq 2,5^\circ$, а довжина ділянки дифузуратора - $L_d \geq 2 \cdot d$.

Гідравлічні втрати на конусі (кавітаторі) визначаються по формулі:

$$\Delta h_k = \xi_{кас} \frac{\rho \cdot V_{кас}^2}{2}, \quad (4)$$

де $V_{кас}$ – швидкість в місці обтікання конуса потоком рідини в дифузурі.

Загальні втрати тиску на кавітаційному диспергаторі дорівнюють:

$$\Delta h_{кц} = (\xi_k + \xi_{дл} + \xi_{ш}) \frac{\rho \cdot V_1^2}{2} + (\xi_{кас}) \frac{\rho \cdot V_{кас}^2}{2}, \quad (5)$$

де $\xi_{кас}$ – коефіцієнт гідравлічних втрат на кавітаторі (конусі).

Коефіцієнт $\xi_{кас}$ визначається експериментально для різних кутів розкриття конуса.

Мінімальні гідравлічні втрати відповідатимуть кутам розкриття конуса $15^\circ - 20^\circ$ й дорівнюють $\xi_{кас} = 0,15 - 0,16$.

Інтенсивність кавітаційної обробки залежатиме від геометричних характеристик суперкаверни і як наслідок – числа і розміру кавітаційних мікропухирів, що утворюються за суперкаверною. Оскільки регулювання розміру супер-

каверни (інтенсивності кавітаційної обробки) здійснюється шляхом осьового переміщення конуса обтікання в дифузори, то для характеристики інтенсивності процесу гідродинамічної кавітації вводиться коефіцієнт затискання потоку – k_3 , який дорівнює:

$$k_3 = \frac{F_k}{F_d} = \frac{D_k^2}{D_d^2}, \quad (6)$$

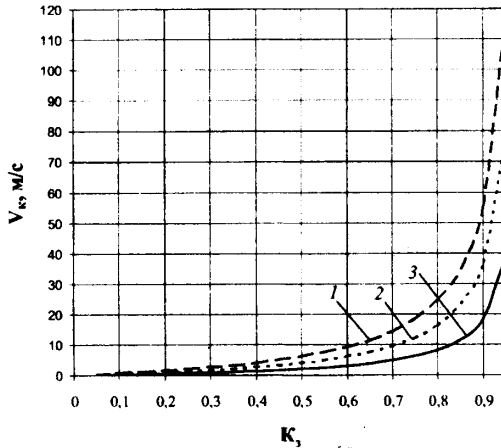
де F_k, F_d – відповідно площа перетину підстави «конуса-обтікання» і дифузора; D_k, D_d – відповідно діаметри основи конуса обтікання і дифузора в певному перетині.

Враховуючи рівняння нерозривності потоку з урахуванням коефіцієнта затискання потоку, швидкість обтікання конуса дорівнює:

$$V_k = \frac{Q}{0,785 \cdot d_k^2 \cdot (1/k_3 - 1)}, \text{ м/с} \quad (7)$$

де d_k – діаметр конуса; Q – витрата промивальної рідини.

На рис. 4 показана графічна залежність швидкості обтікання конуса від коефіцієнта затискання.



1 – 0,003 м³/с; 2 – 0,002 м³/с; 3 – 0,001 м³/с

Рисунок 4 - Залежність швидкості обтікання конуса від коефіцієнта затискання потоку

Як видно по графіку раціональний діапазон зміни коефіцієнта затискання потоку знаходиться в межах $k_3=0,6-0,8$, оскільки в цьому діапазоні інтенсивність зміни швидкості має максимальне значення, що дозволить регулювати інтенсивність дії кавітації в широких межах.

Природа коливань кавітацій що виникають при обтіканні конуса, аналогічна природі добре відомих в гідродинаміці так званих струхалевих частот. Для цих коливань характерна лінійна залежність частоти від швидкості набіга-

ючого потоку і обернено пропорційна залежність від характерного геометричного розміру (гідравлічного діаметру) :

$$f = \frac{Sr \cdot V}{d_c}, \quad (8)$$

де Sr - число Струхала, безрозмірна величина, один з критеріїв подібності нестационарних течій рідин, що характеризує постійність протікання процесів в часі. Формула, що описує число Струхала.

Число Струхала є функцією числа Рейнольдса Re , і в діапазоні $200 < Re < 200000$ діє емпіричний закон постійності числа Струхала: $Sr \approx 0,2 - 0,3$. Остаточно формула для розрахунку частоти кавітаційних коливань прийме вид:

$$f = \frac{Sr \cdot Q}{0,785 \cdot d_k^3 (1/k, -1)(1/\sqrt{k}, -1)}, \text{ Гц} \quad (9)$$

Результаті розрахунку частоти кавітаційних коливань наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Розрахункові значення частоти кавітаційних коливань

Діаметр конусу обтікання, d_k , м	Коефіцієнт затискання потоку		
	0,6	0,7	0,8
0,025	Q=0,001 м ³ /с		
	84	195	553
	Q=0,002 м ³ /с		
	168	390	1105
	Q=0,003 м ³ /с		
	252	585	1658

Аналізуючи результати проведених досліджень можна зробити наступні

висновки:

- найбільш раціональний діапазон роботи кавітаційного диспергатора по коефіцієнту затискання (з точки зору мінімальних гідравлічних опорів) знаходиться в межах 0,6-0,8;

- коефіцієнт замикання потоку не повинен перевищувати 0,8, інакше може статися різкий скачок тиску в нагнітальній лінії, що, у свою чергу, приведе до аварійної ситуації;

- зі зменшенням діаметру "конуса обтікання" втрати тиску на кавітаційному диспергаторі збільшуються, а їх найбільш інтенсивне зростання спостерігається при зменшенні діаметру "конуса обтікання" від 0,015 м і менше.

Таким чином з точки зору оптимальних гідравлічних характеристик кавітаційного диспергатора:

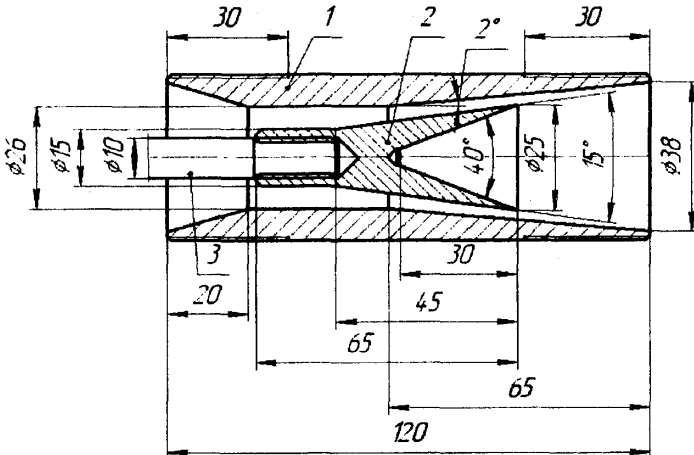
1) коефіцієнт затискання має дорівнювати 0,8 і менш;

2) діаметр "конуса обтікання" має дорівнювати 0,015 і більше.

З урахуванням приведених досліджень, був розроблений експериментальний зразок кавітаційного диспергатора, новизна якого підтверджена патентом України (рис. 5).

Промивальна рідина по нагнітальній лінії поступає в ніпель спеціального перетину 1 і, обтікаючи конус 2, поступає у викидну лінію. При обтіканні кону-

са 2 відбувається утворення ділянки, в якому краплинна рідина повністю відсутня – з'являється суперкаверна. Для забезпечення можливості регулювання режимними параметрами роботи кавітаційного диспергатора конус обтікання 2 виконаний з можливістю осьового переміщення в дифузорі ніпеля 1, шляхом переміщення штока 3. При цьому розмір суперкаверни залежатиме від швидкості потоку і як наслідок від радіального зазору між конусом обтікання і дифузором ніпеля 1.



1 - ніпель спеціального перетину; 2 - конус обтікання; 3 - шток
Рисунок 5 - Кавітаційний диспергатор

При зіткненні струменя з частинкою дисперсної фази виникаючий тиск повинен долати не тільки локальну міцність частинки, але і її сили інерції. В умовах кумулятивної дії матеріал твердих частинок може поводитися як рідина, динамічна межа текучості за експериментальними даними дорівнює $P_d = 1.8 \cdot \sigma_t$, з урахуванням сил інерції його величина збільшується до $P_d = 4.5 \cdot \sigma_t$, де σ_t - межа текучості матеріалу дисперсної фази.

На рис. 6 показана розрахункова схема схлопування кавітаційного пухиря.

При входженні струменя в частинку дисперсної фази тиск на контактній поверхні складе, у разі жорсткого удару:

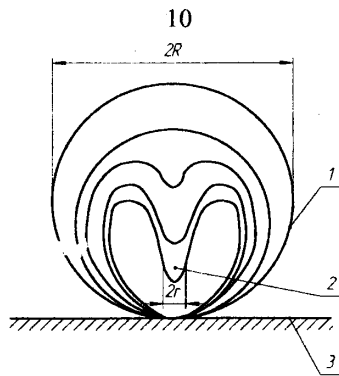
$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho_c \cdot (V_c - U)^2, \quad (8)$$

де U – швидкість контактної поверхні;

ρ_c - густина рідини в кумулятивному струменю.

В той же час, приймаючи, що матеріал частинки при ударі починає текти, з рівняння Бернуллі для матеріалу частинки одержуємо:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho_c \cdot U^2 + P_0, \quad (9)$$



1 – кавітаційний пухир; 2 – кумулятивний струмінь; 3 – поверхня частинки дисперсної фази

Рисунок 6 - Розрахункова схема схлопування кавітаційного пухиря

де ρ_c - густина матеріалу дисперсної фази; P_0 – динамічна межа текучості (з урахуванням сил інерції дорівнює $4,5 \cdot \sigma_r$); σ_r - межа текучості матеріалу дисперсної фази.

Тоді знаходимо:

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_k \cdot (V_k - U)^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_c \cdot U^2 + P_0 \cdot \quad (10)$$

Одержимо:

$$U = \frac{\sqrt{\rho_k \cdot P_0 + \rho_c \cdot \rho_k \cdot V_k^2 - \rho_c \cdot P_0 - V_k^2 \cdot \rho_k}}{\rho_k - \rho_c} \quad (11)$$

При сталому процесі за один і той же достатньо малий проміжок часу $d\tau$ контактна поверхня пройде шлях, рівний $dl_u = U \cdot d\tau$. Кумулятивну струмінь можна представити у вигляді рідкого клину. За проміжок $d\tau$ розмір струменя в наслідок контакту з поверхнею частинки збільшується на величину $dl_c = V_k \cdot d\tau$ (рис. 6). Кумулятивна струмінь, прошиваючи пухир, змінює свою форму від $2R$ до $2r$ - якнайменшого радіусу. Тоді час $d\tau$ визначається як:

$$d\tau = dl_u / U = dl_c / V_k \quad (12)$$

Глибина проникнення струменя дорівнює:

$$l = \int_{2r}^{2R} \left(\frac{\sqrt{\rho_k \cdot P_0 + \rho_c \cdot \rho_k \cdot V_k^2 - \rho_c \cdot P_0 - V_k^2 \cdot \rho_k}}{V_k (\rho_k - \rho_c)} \right) dR \quad (13)$$

Швидкості V_k і U є функціями радіусу пухиря. Інтегрування одержаного виразу дозволяє визначити глибину проникнення l струменя в частинку за умови жорсткого пружного удару для випадку, коли частинка торкається пухиря, а зіткнення відбувається при довжині струменя, рівної початковому діаметру пухиря:

$$l_c = 2 \cdot R \quad (14)$$

При повному схлопуванні пухиря під якнайменшим його радіусом r слід розуміти радіус струменя. Руйнування частинки за один удар струменя відбу-

дється в тому випадку, якщо глибина проникнення l буде більше або рівна середньому l_q розміру частинки дисперсної фази.

Тому для умови руйнування частинки за один удар при відомому розмірі частинки l_q необхідно одержувати кавітаційні пухирі такого радіусу R , щоб глибина проникнення була більше розміру частинки:

$$l_{2R} \geq l_q \quad (15)$$

Інтегруванням виразу (13) одержимо формулу для визначення глибини проникнення кумулятивного струменя в частинку:

$$l = \frac{\sqrt{\rho_k \cdot P_0 + \rho_c \cdot \rho_k \cdot V_k^2 - \rho_c \cdot P_0 - V_{kc} \cdot \rho_k}}{V_{kc}(\rho_k - \rho_c)} \cdot (2 \cdot R - 2 \cdot r) \quad (16)$$

Враховуючи умову руйнування частинки за один удар:

$$l = 2 \cdot R \quad (17)$$

Прирівнявши вирази (16) і (17) визначимо необхідну для руйнування частинки дисперсної фази швидкість кумулятивного струменя:

$$V_k = \frac{\sqrt{(4 \cdot \rho_k \cdot (R^2 - R \cdot r) + \rho_k \cdot r^2 - \rho_c \cdot R^2) \cdot P_0 \cdot (R - r)}}{4 \cdot \rho_k \cdot (R^2 - R \cdot r) + \rho_k \cdot r^2 - \rho_c \cdot R^2} \quad (18)$$

Знаючи швидкість проникнення кумулятивного струменя в частинку і її розмір, визначимо час необхідне для одиничного акту руйнування частинки з початковим характерним розміром l_0 :

$$t_1 = \frac{l_0}{V_k} \quad (19)$$

Визначимо початкове число частинок в певному об'ємі дисперсної фази V :

$$n = \frac{V}{V_1} \quad (20)$$

де V – об'єм дисперсної фази;

V_1 – початковий об'єм однієї частинки дисперсної фази.

Час необхідне для диспергування всіх частинок дисперсної фази визначається формулою:

$$T = t_1 \cdot n = \frac{l_0 \cdot V}{V_k \cdot V_1} \cdot c \quad (21)$$

Проте при розрахунку часу диспергування всього об'єму дисперсної фази слід врахувати число частинок, що одночасно диспергують, яке дорівнює частоті кавітаційних коливань. Тоді час необхідний для диспергування всіх частинок дисперсної фази:

$$T = \frac{l_0 \cdot V}{V_k \cdot V_1 \cdot f} \quad (22)$$

де f – частота кавітаційних коливань.

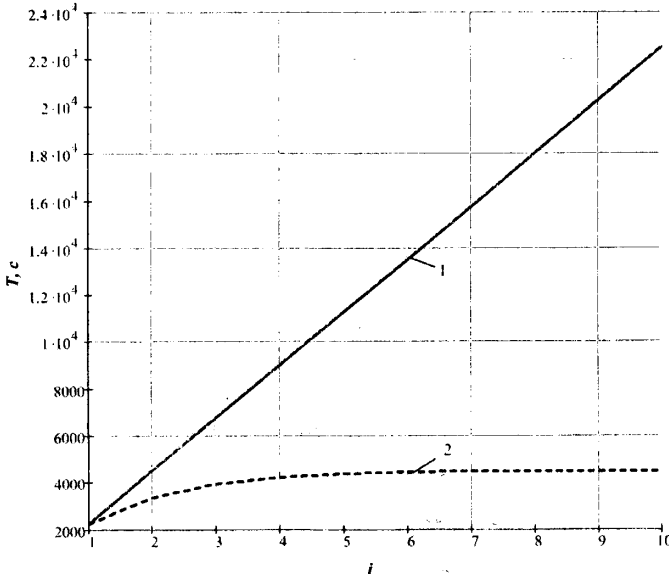
Прийнявши що з кожним актом руйнування початковий об'єм частинок дисперсної фази V_0 зменшуватиметься як мінімум в 2 рази, визначимо залежність часу диспергування T від числа циклів обробки i при $f=const$.

$$\sum T_i = i \cdot \frac{l_0 \cdot V}{V_k \cdot V_0 \cdot f}, \text{ с.} \quad (23)$$

Загальний час для диспергування певного об'єму дисперсної фази з початковим розміром частинок l_0 й об'ємом V_0 до розміру l_i й об'єму V_i при збільшенні частоти кавітаційних коливань тиску рідини в потоці з кожним циклом в n разів дорівнює:

$$\sum T_i = \frac{l_0 \cdot V}{V_k \cdot V_0 \cdot f} \cdot \frac{\left[1 - \left(\frac{1}{n}\right)^{i-1} \cdot \frac{1}{n}\right]}{\left(1 - \frac{1}{n}\right)}, \text{ с.} \quad (24)$$

У графічному вигляді залежності (23) та (24) приведені на рис. 7.



1 - при $f=const$; 2 - при змінній частоті кавітаційних коливань

Рисунок 7 - Залежність часу диспергування T від числа циклів обробки i

Розрахунок проведений в математичному редакторі *Mathcad 14* для наступних початкових умов: радіус мікробурих при схлопуванні зменшується в 10 разів; початковий розмір частинок дисперсної фази - $l_0 = 0,0001$ м; динамічна міцність частинок дисперсної фази $P_0 = 100$ МПа; число повних циклів обробки $i = 10$.

На рис. 8 показано характер залежності часу диспергування дисперсної фази від частоти кавітаційних коливань для одиничного циклу обробки.

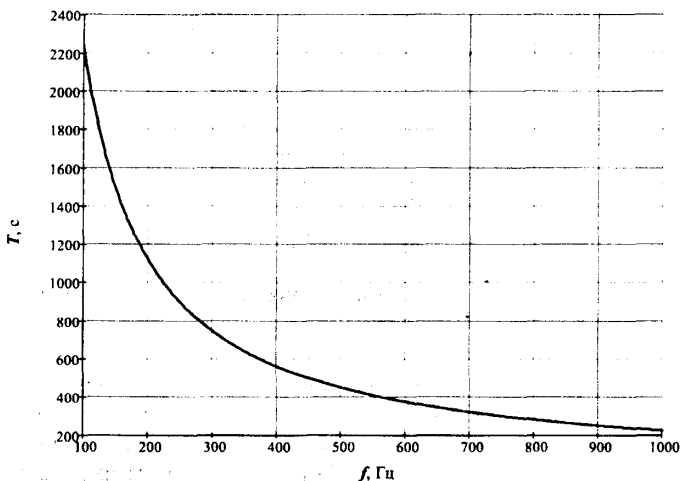


Рисунок 8 - Залежність часу диспергування дисперсної фази від частоти кавітаційних коливань для одиничного циклу обробки

Аналіз графічних залежностей (рис. 7 та рис. 8):

- час диспергування дисперсної фази для одиничного циклу обробки обернено пропорційний частоті кавітаційних коливань;
- число частинок дисперсної фази в потоці з кожним актом руйнування зростає, отже, для підтримки інтенсивності диспергування на постійному рівні необхідно змінювати число кавітаційних пухирів в потоці (частоту кавітаційних коливань).

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням процесу кавітаційного диспергування.

Для підтвердження теоретичних висновків і проводилися експериментальні дослідження, які проходили в три етапи.

1. На першому етапі досліджень перевірялася працездатність кавітаційного диспергатора і визначалися геометричні параметри каверни залежно від коефіцієнта затискання потоку за допомогою фотографування. Стенд включає: кавітаційний диспергатор, вихровий насос 2В-1,6, відстійник, трубопроводи.

Аналіз показав, що із збільшенням коефіцієнта затискання довжина суперкаверни зменшується з однаковою інтенсивністю для різних значень подач насосу рис. 9.

Максимальний перепад тиску на кавітаційному диспергаторі не перевищив 0,2 МПа.

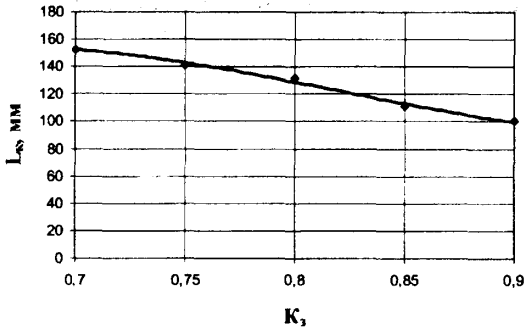


Рисунок 9 - Характерна залежність довжини каверни від коефіцієнта затискування при подачі насоса $0,0016 \text{ м}^3/\text{с}$

2. На другому етапі при проведенні досліджень визначаються фактичні значення параметрів роботи кавітаційного диспергатора, шляхом запису осцилограми процесу при різних режимах роботи стенду (зміна подачі насоса і коефіцієнта затискування потоку в кавітаційному диспергаторі) на ЕОМ. Стенд включає: кавітаційний диспергатор, насос, відстійник, трубопроводи, вимірвальна апаратура.

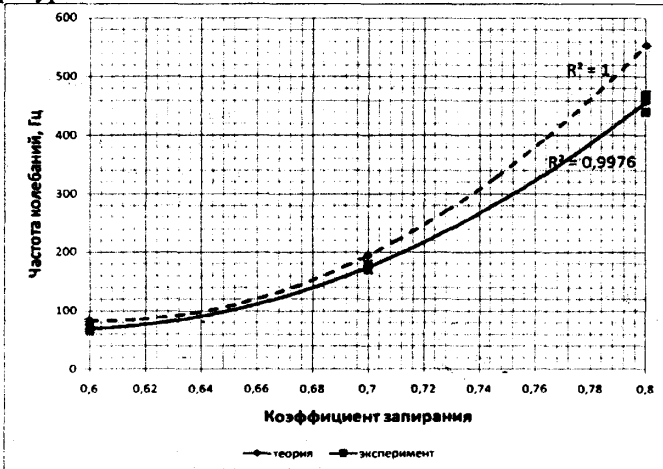
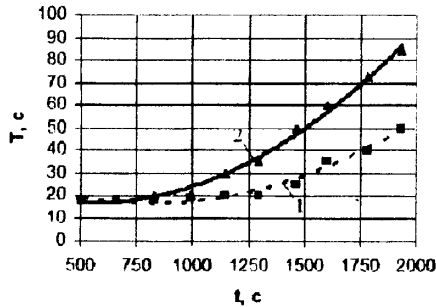


Рисунок 10 - Залежність частоти кавітаційних коливань від коефіцієнта затискування при $Q=0,001 \text{ м}^3/\text{с}$

На рис. 10 наведено результати експериментальних досліджень частотної характеристики кавітаційного диспергатора при $Q=0,001 \text{ м}^3/\text{с}$. Розбіжність експериментальних даних з теоретичними знаходиться в межах 15-20%. Аналогічні результати отримано для $Q=0,002 \text{ м}^3/\text{с}$ й $Q=0,003 \text{ м}^3/\text{с}$.

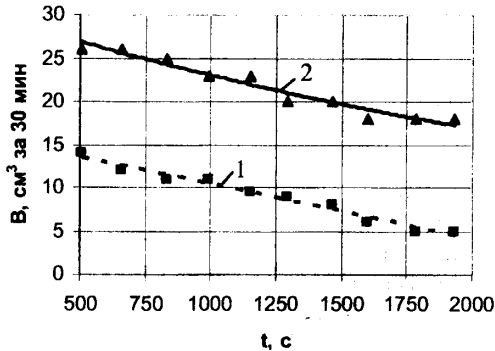
3. На третьому етапі проводилися стендові дослідження процесу кавітаційного диспергування.

Аналіз результатів експериментальних випробувань впливу кавітаційного диспергатора на технологічні властивості промивальних рідин показує, що його використання дозволило збільшити інтенсивність зростання технологічних властивостей порівняно із застосуванням трубки Вентурі (рис.11-12).



1 - обробка за допомогою трубки Вентурі; 2 - обробка кавітаційним диспергатором

Рисунок 11 - Вплив часу обробки на умовну в'язкість глинистої розчину



1 - обробка кавітаційним диспергатором; 2 - обробка за допомогою трубки Вентурі

Рисунок 12 - Вплив часу обробки на водовіддачу глинистої розчину

У четвертому розділі обґрунтовано технологічні схеми використання кавітаційного диспергатора у виробничих умовах й наведено результати виробничих випробувань.

Обробка промивальних рідин по такій схемі проводиться в процесі спускно-підймальних операцій і реалізується перемиканням насоса на допоміжну замкнуту лінію.

Застосування такої схеми обробки також дозволить змінювати і підтримувати властивості промивальної рідини із зростанням глибини свердловини (зміні геологічних умов буріння) за рахунок регулювання ступеня дисперсності початкових компонентів і вибуреної породи.

Аналіз результатів показав, що застосування кавітаційного диспергатора дозволило понизити витрату матеріалів і реагентів на приготування промивальних рідин, з підтримкою технологічних властивостей на проектному рівні.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій на підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень дано рішення актуальної задачі, що полягає в обґрунтуванні параметрів пристрою и технології приготування промивальних рідин за рахунок використання ефекту гідродинамічної суперкавітації.

Одержано наступні основні результати.

1. Обґрунтовано той факт, що при приготуванні промивальних рідин найперспективнішою з енергетичної точки зору є гідродинамічна суперкавітація, що виникає при обтіканні вісьосиметричних тіл потоком рідини.

2. Встановлено, що мінімальний перепад тиску на кавітаційнім диспергаторі забезпечується при виконанні тіла обтікання у вигляді конуса з малими кутами розкриття.

3. Запропонована принципово нова конструкція кавітаційного диспергатора новизна, якій підтверджена патентом України.

4. Для розробленого кавітаційного диспергатора основною керованою величиною, що визначає інтенсивність кавітаційної дії, є коефіцієнт затискання k_z .

5. На підставі теоретичних досліджень встановлено, що час диспергування дисперсної фази для одичного циклу обробки обернено пропорційний частоті кавітаційних коливань.

6. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволили розробити методичні рекомендації по застосуванню кавітаційного диспергатора для приготування промивальних рідин при бурінні свердловин.

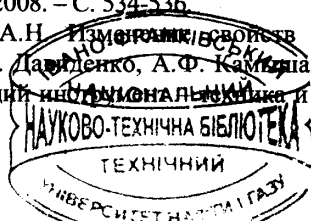
7. Розроблені і застосовані в умовах виробництва рекомендації дозволили зменшити витрату матеріалів для приготування промивальних рідин при бурінні свердловин в середньому на 20-30%. Методичні рекомендації прийняті і схвалені до використання Державною геологічною службою Міністерства екології і природних ресурсів України.

8. Кавітаційний диспергатор забезпечує ефективне диспергування компонентів, що входять до складу промивальної рідини, і може бути рекомендований до широкого використання в практиці бурових робіт.

Список опублікованих праць за темою дисертації.

1. Давиденко А.Н. Управление свойствами промывочных жидкостей с помощью кавитационного диспергатора / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Горный журнал Казахстана №4, 2013. – С. 54-56.

2. Камышацкий А.Ф. Применение кавитационных генераторов для приготовления эмульсионных растворов / А.Ф. Камышацкий // Науковий вісник Національної гірничої академії України № 5. – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2001, с.118.
3. Давиденко А.Н. Использование гидродинамической кавитации для приготовления тонкодисперсных растворов при бурении скважин / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Науковий вісник Національної гірничої академії України № 6. – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2002, с.59 - 61.
4. Камышацкий А.Ф. Гидродинамическая обработка буровых очистных агентов / А.Ф. Камышацкий // Наукові праці ДонДТУ. Серія гірничо-геологічна. Вип. 63. – Донецьк, ДонДТУ, 2003. – с. 81-84.
5. Давиденко А.Н. Экспериментальные исследования кавитационного диспергатора / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов. – Вып. 7. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля, 2004. – с. 34 – 36.
6. Камышацкий А.Ф. Процесс диспергирования исходных компонентов промывочных жидкостей при гидродинамической обработке / А.Ф. Камышацкий // Науковий вісник Національного гірничого університету № 5. – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2004, с. 44 – 46.
7. Давиденко А.Н. Влияние работы кавитационного диспергатора на технологические свойства буровых растворов / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов. – Вып. 8. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля, 2005, с. 46-49.
8. Давиденко А.Н. Опыт применение кавитационного диспергатора для приготовления промывочной жидкости / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Наукові праці ДонДТУ. Серія гірничо-геологічна. Вип.105. – Донецьк, ДонДТУ, 2006. – с.25-28.
9. Давиденко А.Н. Регулирование технологических свойств промывочных жидкостей / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Проблемы геологии и освоения недр: Сборник научных трудов XII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 100-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири и 90-летию создания Сибгеолкома в России. – Томск, 2008. – С. 532-534.
10. Давиденко А.Н. Эффективная технология освоения гидрогеологических скважин / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий, А.С. Змиевский // Проблемы геологии и освоения недр: Сборник научных трудов XII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 100-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири и 90-летию создания Сибгеолкома в России. – Томск, 2008. – С. 534-536.
11. Давиденко А.Н. Изменение свойств промывочных жидкостей в процессе бурения / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления



e 24.55

и применения: Сборник научных трудов.- Вып.12. – Киев: ИСМ им. Бакуля НАН Украины 2009.С.85-89.

12. Камишацький О.Ф. Експериментальні дослідження роботи диспергатора / О.Ф. Камишацький // Науковий вісник НГУ, № 7 2009, С.81-83.

13. Патент 68524 А Україна, МКИ 7 Е 21 В 21/06. Пристрій для приготування бурових рідин/ Давиденко О.М., Камишацький О.Ф. № 2003065862; Заявлено 24.06.2003; Опубл. 13.08.2004; Бюл. № 8. – 3 с.

14. Патент 68586 А Україна, МКИ 7 Е 21 В 21/06. Пристрій для розкальматації привибійної зони гідрогеологічних свердловин/ Давиденко О.М., Камишацький О.Ф. № 2203142756; Заявлено 24.06.2003; Опубл. 16.08.2004; Бюл. № 8. – 3 с.

АНОТАЦІЯ

Камишацький О.Ф. Обґрунтування параметрів пристрою для обробки промивальних рідин при бурінні свердловин. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.10 - Буріння свердловин - Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2014р.

Дисертація присвячена питанням розробки пристрою і технології для приготування промивальних рідин. Загальна частка витрат на їх приготування складає від 5 до 14 % вартості проходки свердловин.

На підставі аналітичного огляду обґрунтована перспективність використання гідродинамічної суперкавітації для приготування промивальних рідин при бурінні свердловин.

Проведені теоретичні дослідження дозволили обґрунтувати параметри і розробити конструкцію кавітаційного диспергатора. Встановлено, що основним критерієм визначаючим інтенсивність роботи кавітаційного диспергатора, є коефіцієнт запирання потоку. Управляючи ним за допомогою переміщення конуса в дифузорі можна добиватися зміни швидкості обтікання його потоком рідини.

Запропоноване рівняння для визначення часу диспергування певного об'єму дисперсної фази при приготуванні промивальних рідин.

Результати теоретичних досліджень знайшли підтвердження в ході практичних досліджень і стали базою для створення методики по застосуванню кавітаційного диспергатора при приготуванні промивальної рідини і конструкції кавітаційного диспергатора успішно випробуваній у виробничих умовах.

Ключові слова: буріння свердловин, свердловина, промивальна рідина, гідродинамічна суперкавітація, кавітаційний диспергатор.

АННОТАЦИЯ

Камышацкий А.Ф. Обоснование параметров устройства для обработки промывочных жидкостей при бурении скважин. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.10 – Бурение скважин – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2014г.

Диссертационная работа посвящена вопросам разработки устройства и технологии для приготовления промывочных жидкостей. Общая доля затрат на их приготовление составляет от 5 до 14 % стоимости проходки скважин. Реологические свойства промывочной жидкости играют решающую роль в успешном осуществлении буровых работ. От этих свойств и зависят главным образом технико-экономические показатели бурения скважин. Применение промывочных жидкостей с неудовлетворительными параметрами может привести к осложнениям: образование пробок в стволе скважины, забивание шламом призабойной зоны, снижение механической скорости бурения, размыв стенок ствола, прихват бурильной колонны, поглощение промывочной жидкости и др. В процессе бурения скважин происходит ухудшение технологических свойств промывочных жидкостей за счет перехода выбуренных частиц шлама в раствор и притока пластовых вод.

На основании аналитического обзора обоснована перспективность использования гидродинамической суперкавитации для приготовления промывочных жидкостей при бурении скважин. Простота, высокая надежность и эффективность суперкавитационных аппаратов, их универсальность открывает широкие возможности для их использования при бурении скважин.

Проведенные теоретические исследования позволили обосновать параметры и разработать конструкцию кавитационного диспергатора. Установлено, что основным критерием, определяющим интенсивность работы кавитационного диспергатора, является коэффициент запыривания потока. Управляя им с помощью перемещения конуса в диффузоре можно добиваться изменения скорости обтекания потоком жидкости конуса.

Предложено уравнение для определения времени диспергирования определенного объема дисперсной фазы при приготовлении промывочных жидкостей. Теоретически и экспериментально обосновано, что технология приготовления промывочных жидкостей за счет использования эффекта гидродинамической суперкавитации, позволяет улучшить их технологические свойства без дополнительных затрат на оборудование и химические реагенты.

Результаты теоретических исследований нашли подтверждение в ходе практических исследований и явились базой для создания методики по применению кавитационного диспергатора при приготовлении промывочной жидкости и конструкции кавитационного диспергатора успешно испытанной в производственных условиях. Анализ результатов производственных испытаний показал, что применение кавитационного диспергатора позволит снизить расход материалов и реагентов на приготовление промывочных жидкостей, с поддержанием технологических свойств на проектном уровне. Кавитационный диспергатор обеспечивает эффективное диспергирование компонентов, входящих в состав промывочной жидкости, и может быть рекомендован к широкому использованию в практике буровых работ при применении в качестве промывочных жидкостей различных дисперсных систем.

Разработанные методические рекомендации по применению кавитационного диспергатора при приготовлении промывочных жидкостей утверждены в государственной геологической службе Украины (г. Киев).

Ключевые слова: бурение скважин, скважина, промывочная жидкость, гидродинамическая суперкавитация, кавитационный диспергатор.

ANNOTATION

Kamyshackiy A.F. The Motivation parameter device for preparation bore liquids when boring wells. - the Manuscript.

Dissertation for awarding the academic degree of the candidate of technical science under specialty 05.15.10 – Drilling of wells - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2014.

The thesis is dedicated to questions of the development device and technologies for preparation bore liquids.

The called on basic researches have allowed to motivate the parameters and develop the design of cavitation disperser. It is installed that main criterion defining intensity of the work of cavitation disperser, is a factor of blocking flow. Controlling him by means of moving the cone of current in diffuser possible to obtain change of velocities by current flow of liquids of the cone.

The offered equation for determination of time dispersion determined volume dispersion phases at preparation bore liquids.

The results of the basic researches have found the acknowledgement in the course of practical studies and were a base for making the methods on using cavitation disperser at preparation bore liquids and designs cavitation disperser successfully practiced in working conditions.

The key words: drilling of wells, bore wells, bore liquid, hydrodynamic supercavitation, cavitation disperser.