

622.24.051

Ф41

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

ФЕМ'ЯК Ярослав Михайлович

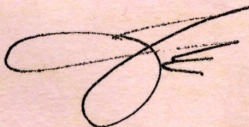
УДК 622.24.051 (043)

Ф41

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ
БУРІННІ СВЕРДЛОВИН ЗА РАХУНОК ЕНЕРГІЇ ПУЛЬСУЮЧИХ ПОТОКІВ**

05.15.10 – Буріння свердловин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ -- 2007

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

Доктор технічних наук, професор
Яремійчук Роман Семенович,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
декан спільного факультету
нафтогазових технологій

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор,
Мойсишин Василь Михайлович
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри вищої математики

кандидат технічних наук, старший
науковий співробітник

Фриз Іван Михайлович

ТзОВ "Бурова техніка", технічний директор,
м. Івано-Франківськ



Захист в
спеціалізова
технічного
Франківськ,

3 дисер
Івано-Франк
адресою: 760

Автореферат

Вчений секр
спеціалізова
кандидат тех

на засіданні
ціонального
м. Івано-

бібліотеці
і газу за

овбасюк



an429

1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Національною програмою “Нафта і газ України до 2010 року” передбачається розширити об’єми буріння і зменшити терміни будівництва свердловин. Проблема пошуку ефективних технологій руйнування гірських порід під час буріння свердловин сьогодні залишається однією з найбільш актуальних у всіх нафтогазовидобувних країнах світу, у тому числі і в Україні.

Особлива увага приділяється пошукам більш раціонального розподілу енергії, яка витрачається на механічне руйнування гірської породи. Так, при одиничному акті руйнування породи на утворення тріщини затрачається 8 – 12 % підведеної енергії. Для повного досягнення тріщиною до кінцевої глибини (із частковим деформуванням урізаного конуса) необхідно 10 – 12 % і для сколювання консоли – 6 – 8 % загальної енергії. Інші 68 – 76 % енергії витрачаються на роздавлювання урізаного конуса, пружну деформацію наповненого простору і сколюючих частинок, тертя на поверхнях міжфазового розділення та інше. Таким чином, процес руйнування породи буровим долотом з енергетичної точки зору є вкрай невигідним.

Відомі сьогодні технології і технічні засоби ефективності руйнування гірських порід при бурінні свердловин в значній мірі вичерпали свої потенційні можливості. Тому у всіх країнах світу ведеться інтенсивний пошук нових технологій і технічних засобів, які базуються на нових явищах.

Одна з таких робіт, присвячених використанню пульсаційно-хвильової дії на пристовбурну зону свердловини, в останні 10 років виконана в Росії. Суть цього способу полягає в тому, що за допомогою спеціальних вихрових камер в промишльній рідині послідовно створюються імпульси тисків різної частоти та амплітуди. Успішне використання цієї технології з метою збільшення дебітів свердловин в різних нафтогазовидобувних регіонах Росії, висока техніко-економічна ефективність і значний потенціал при відносній простоті реалізації в свердловинних умовах ставлять її в ряд високоефективних. Особливі заслуги у вирішенні багатьох задач використання даної технології належать академіку РАН професору Ганієву Р.Ф.

Використання пульсаційно-хвильової технології для підсилення руйнування гірських порід буровими долотами може забезпечити істотне збільшення швидкості буріння та проходки на долото за рахунок інтенсифікації руйнування гірських порід під час буріння.

Вирішенню цієї важливої науково-практичної задачі присвячена дана дисертаційна робота.

an 428 - an 429

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота входить до науково-тематичних планів Міністерства освіти і науки та підприємств нафтогазовидобувної галузі України. Результати дисертаційної роботи використані при виконанні держбюджетних тематик № Д4 - 98 - Ф і № Д2 - 01 - Ф у науково-дослідному інституті нафтогазових технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності процесу руйнування гірських порід при бурінні свердловин за рахунок створення миттєвих пульсуючих потоків у промивальній рідині на вибої свердловини.

Основні задачі дослідження.

1. Аналіз впливу кавітаційно-пульсаційних потоків промивальної рідини на техніко-економічні показники руйнування гірських порід при бурінні свердловин.
2. Математичне обґрунтування конструкції гідродинамічного пульсатора та динаміки взаємодії пульсуючих потоків промивальної рідини з вибоєм свердловини.
3. Експериментальні дослідження виникнення пульсаційних процесів в потоці промивальної рідини при проходженні її через гідромоніторну насадку та гідродинамічний пульсатор.
4. Оцінка характеру пульсацій та можливості їх передачі через пульсаційно-кавітаційну камеру та гідромоніторну насадку.
5. Розробка і промислові випробування трилопатевого доліт з вставками пульсаторів.

Об'єкт дослідження — вплив миттєвих пульсуючих потоків промивальної рідини на ефективність процесу руйнування гірських порід.

Предмет дослідження — гідродинамічний пульсатор коливань імпульсів тиску в процесі буріння свердловини.

Методи дослідження. 1. Аналітична оцінка використання кавітаційно-хвильової технології в умовах буріння свердловин. 2. Теоретичні дослідження динаміки взаємодії пульсуючих потоків промивальної рідини з вибоєм свердловини та вплив пульсаційних тисків на процес руйнування гірських порід при бурінні свердловин. 3. Експериментальні дослідження роботи гідродинамічного пульсатора та аналіз пульсаційно-кавітаційних процесів, що виникають в процесі його роботи. 4. Промислові дослідження експериментальних взірців бурових трилопатевого доліт, оснащених гідродинамічними пульсаторами.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. На основі аналітичних і промислових досліджень вперше обґрунтовано можливість використання гідродинамічних пульсаторів, для підвищення техніко-

економічних показників буріння свердловин.

2. Запропоновано нову конструкцію гідродинамічного пульсатора з введенням промивальної рідини по дотичному каналу для завихрення потоку рідини в циліндричній частині пульсаційної камери та в дифузорі, в яких виділяється розчинений газ (повітря) у вигляді бульбашок.

3. Експериментально встановлено характер пульсацій потоку промивальної рідини, який полягає у зменшенні величин тиску на виході з пульсаційної камери з амплітудою від 1 до 3 МПа і частотою від 1 до 12 Гц.

4. Встановлено можливість передачі пульсаційних тисків при виході потоку промивальної рідини через пульсаційно-кавітаційну камеру та гідромоніторну насадку.

5. Запропоновано конструкцію трилопатевого бурового долота, в якій для зменшення енергоємності буріння в промивальні вузли вмонтовано гідродинамічні пульсатори. Вказана форма долота захищена патентом України №43637А.

Практичне значення одержаних результатів полягає у науковому обґрунтуванні гідродинамічних явищ, які виникають в гідродинамічному пульсаторі та їх використанні для покращення руйнування гірських порід при бурінні свердловин. Результати отриманих досліджень використані для удосконалення конструкції бурового трилопатевого долота. Промисловими випробуваннями на свердловинах Стрийського і Полтавського відділень бурових робіт БУ “Укрбургаз” доведено ефективність роботи лопатевих доліт з гідродинамічними пульсаторами. Результати досліджень передані для впровадження в БУ “Укрбургаз”.

Особистий внесок здобувача. Автором проведено теоретичні дослідження щодо ефективності використання кавітаційно-пульсаційної технології для покращення процесу руйнування порід при бурінні свердловин [1 - 7]. Розроблено конструкцію гідродинамічного пульсатора, виготовлено і проведено промислові випробування бурового трилопатевого долота, в промивні канали якого вмонтовано пульсуючі пристрої [8].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались на:

- міжнародній науково-практичній конференції “Нафта і газ 2000” (м. Івано-Франківськ, 2000 р.);
- науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ, 1999 –2002 рр.);
- наукових семінарах кафедри морських нафтогазових споруд і кафедри буріння нафтових і газових свердловин Івано-Франківського національного технічного

університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ, 2002 – 2007 рр.).

Публікації. За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 8 наукових праць, в тому числі 1 самостійна та 1 патент України на винахід.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Загальний об'єм роботи містить 137 сторінок і включає 32 рисунки, 2 таблиці, список літератури з 80 найменувань та 3 додатки.

Автор висловлює щире подяку канд. техн. наук, доц. Возному В.Р. та старшому науковому співробітнику НДІНГТ Шандровському Т.Р. за допомогу при проведенні експериментальних досліджень, а також начальнику технологічного відділу Стрийського ВБР, канд. техн. наук Баранецькому М.В. за допомогу в організації виготовлення і проведення промислових випробувань експериментальних взірців бурових трилонатевих доліт.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, сформувані мета і задачі досліджень, вказана практична цінність роботи і шляхи її реалізації у практику буріння свердловин.

У першому розділі дається аналіз вітчизняних та зарубіжних досліджень, який дозволив оцінити стан і основні напрямки покращення ефективності руйнування гірських порід при бурінні свердловин.

Дослідження таких вчених, як Алексєєв Ю.Ф., Байдюк Б.В., Бінгхем М.Г., Векерик В.І., Ейгелес Р.М., Колесніков М.А., Мавлютов М.Р., Мислюк М.А., Попов А.М., Співак А.І., Шрейнер Л.А., Ясов В.Г. та ін. показали, що саме фізико-механічне бачення свердловинних процесів приводить до створення єдиної наукової основи, яка враховує вплив геологічного розрізу і оточуючого середовища на функціонування бурових процесів. Особливість цього підходу полягає в тому, що в ньому предметом розгляду є елементарні акти процесів руйнування порід озброєнням сучасних бурових доліт, які виявлені на основі узагальнення теоретичних і лабораторних досліджень, а також співставлення їх з промисловими даними. Результати проведених досліджень одночасно служать як для обґрунтування технології використання існуючої сьогодні бурової техніки, так і для створення нової техніки і технологій з визначенням програм їх випробування і відпрацювання в практиці буріння свердловин.

Технологія використання пульсуючих пристроїв стає в ряд високоефективних як для інтенсифікації процесу нафтовіддачі пластів, так і для руйнування порід при бурінні свердловин. Особливі заслуги у вирішенні багатьох задач щодо теоретичних основ і напрямків практичного використання цього методу належать академіку РАН Ганісву Р. Ф., а також Гіматудінову Ш.К., Ібрагімову Л.Х., Іванникову В.І. та ін.

Суть методу полягає в тому, що при проходженні потоку промивальної рідини через пульсатор на виході з пристрою формуються пульсуючі потоки. Також встановлено, що надлишковий (порівняно з пластовим) гідростатичний тиск стовпа промивальної рідини перешкоджає відокремленню вибуреної породи від вибою свердловини. Проте якщо спрямувати дію пульсуючих струмин на вибій свердловини, то це повинно покращити процес руйнування гірських порід за рахунок полегшеного відриву консолі від вибою і ретельним винесенням її на поверхню промивальною рідиною.

Викладений вище матеріал став основою для формування мети роботи і основних задач досліджень.

У другому розділі проводяться дослідження динаміки взаємодії пульсуючих потоків промивальної рідини з вибоєм свердловини на основі характеристики вільної затопленої пульсуючої струмини рідини. З механізму дії гідродинамічного пульсатора випливає, що дія на вибій свердловини пульсуючими струминами буде ефективною при певній віддалі насадок пульсаторів від вибою свердловини. Відомо, що при цьому відбувається розширення струмини, зниження швидкості її ядра і послаблення її дії на вибій свердловини. Звідси випливає питання щодо доцільності аналізу кількісних значень величин коливань імпульсів тиску, які формуються на вибої свердловини під час роботи бурового долота, в промивні канали якого вмонтовано пульсуючі пристрої. При цьому слід зауважити, що в свердловинних умовах характер потоку струмини і її параметри можуть суттєво відрізнитися від характеристики вільної пульсуючої струмини. У випадку, який нами розглядається, одночасно діють три гідродинамічні пульсатори, які створюють на вибої свердловини складний спектр пульсуючих потоків.

На рис. 1 приведено результати теоретичних розрахунків середньої швидкості пульсуючої струмини в момент її удару об вибій свердловини.

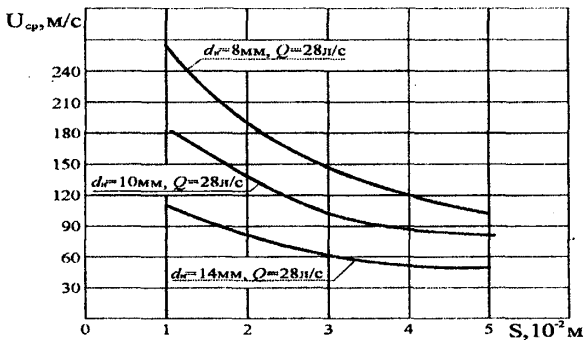


Рис. 1. Залежність середньої швидкості струмини $U_{ср}$ від віддалі між кінцем насадки гідродинамічного пульсатора до вибою свердловини

Одним із джерел різних імпульсів тиску із широким діапазоном частот і амплітуд зміни тиску на вибої свердловини можуть бути адіабатні потоки, що закипають, які виникають за певних умов роботи гідродинамічного пульсатора. Область і умови виникнення адіабатних потоків можна охарактеризувати через критерій Огасавари (Японія), який справедливий для діафрагм і коротких насадок:

$$K_q P_r' = \frac{\Delta t_n r v_0' Q_n d^2}{\alpha'' \sigma T \gamma''} P_r', \quad (1)$$

де Δt - початкова температура недогріву, К;

α'' - температуропровідність, $\text{м}^2/\text{с}$;

d - діаметр каналу насадки гідродинамічного пульсатора, м;

$Q_n = \rho_{n,p} v$ - питома витрата промивальної рідини, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$;

v - швидкість потоку промивальної рідини, $\text{м}/\text{с}$;

$\rho_{n,p}$ - густина промивальної рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$;

P_r' - критерій Прандтля.

Критерієм Огасавари встановлено, що критичні умови витікання промивальної рідини можуть бути викликані за рахунок зміни діаметру прохідного каналу насадки гідродинамічного пульсатора. Створити адіабатні потоки в умовах буріння свердловини з використанням пульсаторів можна за рахунок добавок у промивальну рідину поверхнево-активних речовин (ПАР). Встановлено зв'язок між зміною величини параметра пульсації і зміною відношення тисків P_g / P_0 на вході і виході з пульсатора:

$$K = \frac{P_g}{P_0} \frac{1 - \frac{P_{n,n}}{P_g} + \frac{q_2}{2P_g \rho_{n,p} F_2^2}}{1 - \frac{P_{n,n}}{P_0} + \frac{q_1}{2P_0 \rho_{n,p} F_1^2}}, \quad (2)$$

де P_0 , $P_{n,n}$, P_g - значення тисків відповідно на вході в пульсатор, насичених парів рідини і виході з пульсатора, Па;

$\rho_{n,p}$ - густина промивальної рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$;

F_1 , F_2 - площа поперечного перерізу пульсатора відповідно вихідного отвору насадки і в місці його найбільшого звуження, м^2 ;

q_1 , q_2 - масова секундна витрата промивальної рідини відповідно на вході і

виході з пульсатора, $\text{м}^3/\text{с}$.

Виявлено, що із зменшенням параметру пульсації K відносна довжина кавітаційних пухирців l_k монотонно збільшується в межах довжини насадки, а із збільшенням кута розкриття насадки пульсатора при інших рівних умовах їх відносна довжина в межах насадки пристрою зменшується.

У третьому розділі запропоновано конструкцію гідродинамічного пульсатора (рис. 2) з тангенціальною подачею потоку промивальної рідини та проведено експериментальні дослідження його роботи. Гідродинамічний пульсатор працює наступним чином. Промивальна рідина через входні тангенціальні отвори 2 попадає в камеру завихрення, в якій набуває обертового руху з миттєвим збільшенням швидкості потоку. Завихрений у вихровій камері потік промивальної рідини під дією відцентрових сил і перепаду тиску безперервно витікає в кільцевий конфузورний канал (насадку 5). В насадці, яку виконано з кутом розкриття α від 6° до 7° досягається збільшення швидкості потоку промивальної рідини з виникненням її локального розриву, тобто утворення пухирців і каверн, що заповнені газом (повітрям). Рух потоку промивальної рідини в насадці пульсатора проходить з нарощуванням швидкості і відповідно зі створенням умов для відриву потоку від стінок насадки пульсатора та утворення нових пухирців і каверн, що призводить в кінцевому випадку до виникнення коливального процесу. З метою попередження передчасного руйнування вихрової камери від дії можливих гідроакустичних хвиль і коливань тиску в пристрої передбачено шпиль-відбивач 1, який кріпиться до головки камери завихрення 3.

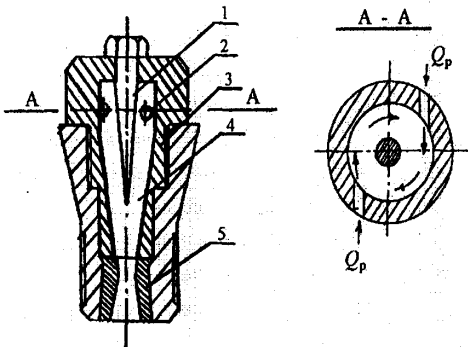


Рис. 2. Схема гідродинамічного пульсатора:
1 – шпиль-відбивач; 2 – отвори для
входження рідини; 3 – головка камери
завихрення; 4 – камера вихрова;
5 – насадка

Слід зауважити, що у конструкції вихрової камери пульсатора основні робочі елементи виготовляються методами порошкової металургії з надтвердих матеріалів.

З метою дослідження робочих характеристик гідродинамічного пульсатора розроблено експериментальну установку, схему якої приведено на рис. 3 з її основними робочими вузлами.

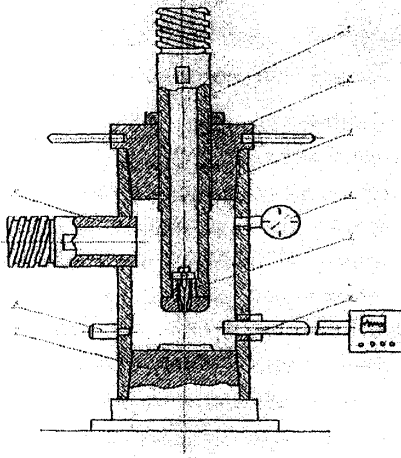


Рис. 3. Схема установки для проведения досліджень роботи гідродинамічного пульсатора:

- 1 – шток; 2 – кришка; 3 – корпус;
4 – манометр; 5 – гідродинамічний
пульсатор; 6 – датчик тиску з під'єднаним
до нього осцилографом; 7 – дно;
8 – запобіжний клапан; 9 – викидна лінія

Установка складається з циліндричного корпусу 3, який за допомогою різьби приєднаний до дна 7. Зверху до корпусу приєднано герметизуючу кришку 2, у якій концентрично розміщено шток 1 з прохідним каналом. Шток 1 може переміщатися вверх-вниз вздовж осі, та фіксуватися в необхідному положенні. У верхній частині штока 1 знаходиться швидкокороз'ємне з'єднання (ШРЗ) для приєднання нагнітальної лінії, а в нижній закріплено гідродинамічний пульсатор 5. Зі сторони зовнішньої поверхні корпусу 3 є канал під викидну лінію 9, що закінчується швидкокороз'ємним з'єднанням. Крім цього установка обладнана манометром 4 типу МТСПД-100-ОМ2 (ГОСТ 12733-74), запобіж-

ним клапаном 8 та датчиком тиску 6 типу ПДМТ-80, який з'єднано з осцилографом або датчиком тиску з комп'ютерним записом пульсацій.

Методика проведення експериментальних досліджень полягає в наступному:

- оцінити можливість виникнення пульсаційних процесів в потоці промивальної рідини при прокачуванні її через гідромоніторну насадку;
- оцінити можливість виникнення пульсацій в потоці промивальної рідини при її проходженні через пульсаційну камеру гідродинамічного пульсатора при відсутності тиску на виході з насадки та при наявності протитиску;
- оцінити можливість передачі пульсаційних тисків при виході потоку рідини через пульсаційно-кавітаційну камеру та гідромоніторну насадку;
- встановити характер пульсації – збільшення або зменшення тиску при лусканні пухирців газу (повітря).

Насосний агрегат, який використовується у якості джерела подачі промивальної рідини направляє її по нагнітальній лінії на шток, пройшовши крізь який рідина поступає в гідродинамічний пульсатор. Після пульсатора потік рідини поступає в середину установки та викидну лінію, що з'єднана з насосним агрегатом. В процесі досліджень проводяться заміри тисків на вході в пульсатор P_1 та після пульсатора

P_2 в автономному режимі через американські датчики високих тисків типу “Viatran Model 5093 BPG AW200”, зняті значення показників яких через кожні 2 с записуються на комп’ютері. Тиск на вході в пульсатор регулюється агрегатом виходячи з врахування його робочих можливостей, а тиск в середині установки дросельною засувкою, яку вмонтовано на викидній лінії. Проводиться замір та запис показів датчиків тиску при послідовній зміні тиску на вході при різних режимах роботи насосного агрегату (від 30 до 20 МПа), а також при переході з відкритої до наполовину закритої дросельної засувки.

Експериментальні дослідження проводились в 3 етапи. У якості робочої рідини було використано глинисту промивальну рідину з наступними параметрами:

$\rho = 1200 \text{ кг} / \text{м}^3$; $\text{УВ}=70 \text{ с}$; $\text{СНЗ}=98/134 \text{ дПа}$; $\text{pH}=8$; $\text{K}=1 \text{ мм}$; $\text{V}=7 \text{ см}^3/30 \text{ хв}$.

На першому етапі проводилися дослідження можливостей створення пульсаційних коливань тиску при прокачуванні промивальної рідини через гідромоніторну насадку діаметром 14 мм. Як показують результати обробки поставленого експерименту (див. рис. 4), після гідромоніторної насадки пульсаційних коливань зафіксовано не було. Перший експеримент було проведено протягом 7 хв. при тиску на вході в насадку 6 – 10 МПа, як без протитиску так із протитиском на викидній лінії ($P_{\text{пр}} = 2 \text{ МПа}$).

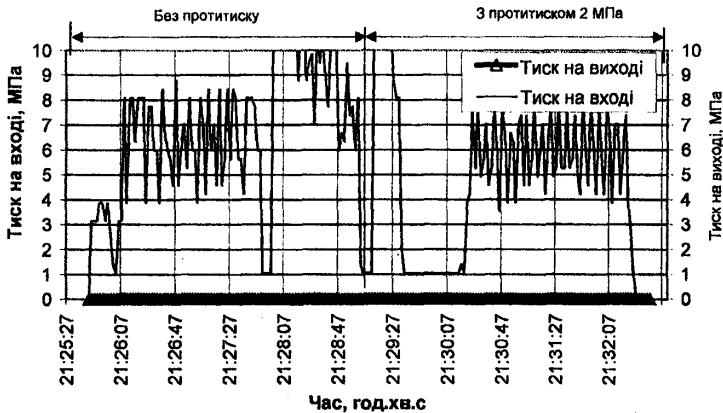


Рис. 4. Результати експериментальних досліджень гідромоніторної насадки діаметром 14 мм на глинистій промивальній рідині

Другий момент експериментальних досліджень представлено пульсатором з діаметром сопла 14 мм. Результати експерименту представлено у вигляді графіків на рис. 5. Виявлено, що без створення протитиску на виході з установки частота пульсацій становила 7 Гц, а амплітуда пульсаційних коливань коливалася від 1 до 6 МПа при тиску на вході 4 МПа. У випадку створення протитиску в 1,5 МПа, що відповідає глибині свердловини 150 м частота коливань тисків зменшилась до 5 Гц, проте амплітуда зросла від 1 до 6 МПа.

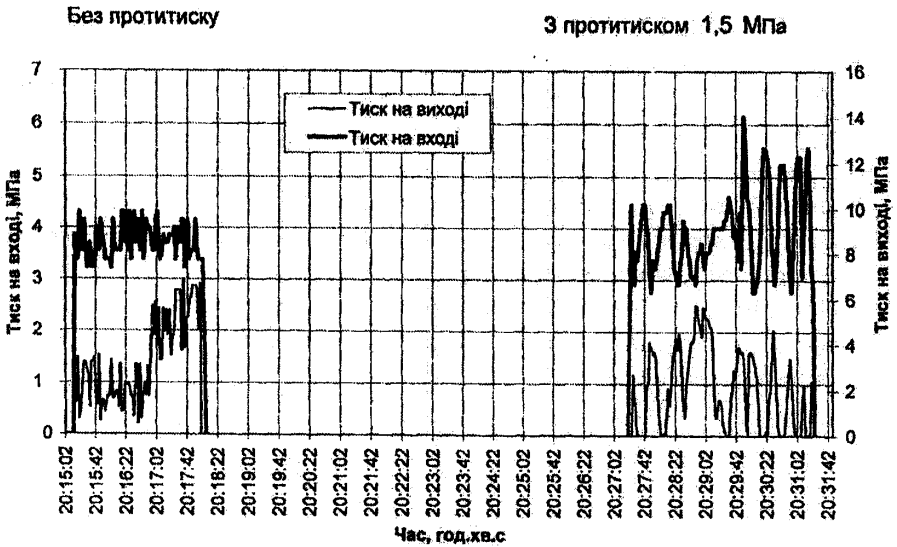


Рис. 5. Графічна інтерпретація результатів дослідження роботи пульсатора з діаметром насадки 14 мм на глинистій промивальній рідині

З метою з'ясування можливості передачі пульсаційних потоків від пульсатора до гідромоніторної насадки діаметром 14 мм поставлено експеримент, який було проведено в аналогічних до попередніх умовах. Результати експерименту подано у вигляді графіків на рис. 6. Як з'ясувалося, після гідромоніторної насадки при тиску на вхідній лінії 8 – 12 МПа та протитиску на виході 2 МПа, що відповідає глибині свердловини 200 м було зафіксовано пульсації, частота яких, як видно з рис. 6 становила 12 Гц, а амплітуда коливань від 0 до 3 МПа.

Третій етап експериментальних досліджень представлено умовами, щодо визначення характеру пульсацій та руйнівних можливостей гідромоніторного ефекту та пульсатора з гідромоніторною насадкою. На дно експериментальної установки було поміщено скляну пластину, товщиною 5 мм. Після прокачування через гідромоніторну насадку протягом 20 хв. промивальної рідини, скляна

пластина була зруйнована повністю за рахунок прямого ударяння струменів потоку рідини, що виходили з гідромоніторної насадки.

3 протитиском 2 МПа

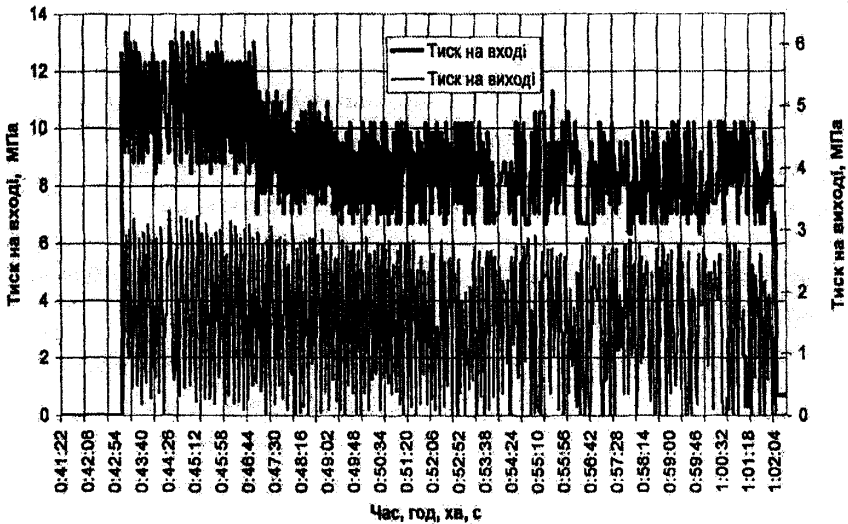


Рис. 6. Графічна інтерпретація результатів дослідження роботи “пульсатор + гідромоніторна насадка” з діаметром насадки 14 мм на глинистій промивальній рідині

Результати запису тисків на вході в гідромонітор і після гідромонітора підтвердили відсутність будь-яких пульсаційних коливань тисків за гідромоніторною насадкою.

Аналогічно проводився експеримент з скляною пластиною, але вже з пульсатором і гідромоніторною насадкою. Процес прокачування промивальної рідини тривав 20 хв.. Після завершення експерименту скляна пластина залишилася не ушкодженою, лише утворилися незначні опуклості до напрямку пульсації тиску. Звідси, стає очевидним той факт, що при пульсації тиск на виході з пульсатора понижується на певну величину амплітуд.

При дослідженнях гідродинамічного пульсатора на установці спостерігався багатотональний шум, що підтверджує про виникнення великої кількості пухирців газу (повітря), лускання яких призводить до створення коливань імпульсів тиску з широким діапазоном частот і амплітуд, тобто на виході з пульсатора формуються потужні пульсаційні потоки промивальної рідини, частота і амплітуда яких визначається насамперед будовою кавітаційних пухирців, а також концентрацією в

них газової (повітряної) фази. Тому при прокачуванні промивальної рідини через пульсатор формуються нерівномірний пульсуючий потік рідини, який характеризується збільшенням або зменшенням тиску при лусканні пухирців газу (повітря).

Четвертий розділ присвячений розробці напрямків практичного використання результатів досліджень впливу пульсуючих пристроїв на покращення процесу руйнування гірських порід при бурінні свердловин. Проведені дослідження дозволили встановити конструктивні і технологічні вимоги до роботи доліт, на базі яких можна було б реалізувати кавітаційно-пульсаційну технологію руйнування гірських порід. З метою прогнозу оцінки впливу пульсаційного потоку на процес буріння свердловин в Стрийському ВБР та в Науково-виробничій фірмі "Велл" виготовлено три трилопатеві долота, армовані твердосплавним озброєнням контакту з надтвердих матеріалів.

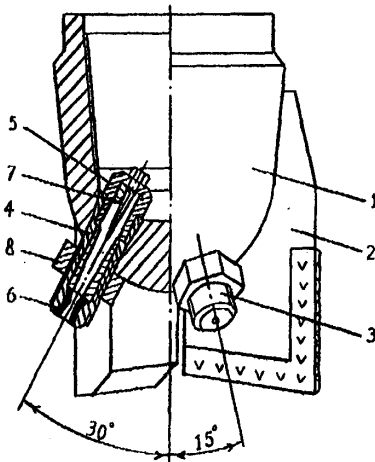


Рис. 7. Схема конструкції бурового трилопатєвого долота 3Л-295,3-ГП, яка захищена патентом України:

- 1 – корпус долота; 2 – лопаті долота;
- 3 – гідродинамічний пульсатор;
- 4 – корпус пульсатора;
- 5 – камера завихрення; 6 – насадка;
- 7 – шпиль-відбивач; 8 – гайка

Бурове трилопатєве долото складається з корпусу 1, до якого приварені три лопаті 2, армовані твердосплавними елементами. У промивні канали корпусу закріплені гідродинамічні пульсатори 3. В свою чергу гідродинамічний пульсатор складається з корпусу 4, головки камери завихрення 5, насадки 6 і шпиль-відбивача 7. Гідродинамічний пульсатор 3 фіксується в корпусі долота 1 за допомогою гайки 8. Вісь кожного пульсатора орієнтовано під різним кутом нахилу відносно осі долота, відповідно 30°, 15° і 5°, що дозволяє охопити практично всю площу вибою свердловини дією потужних пульсуючих потоків.

Промислові випробування експериментальних взірців трилопатєвих доліт 3Л-295,3-КГ проводилися на свердловинах №54-Вишнянська,

№10-Орховичі, №4-Орховичі та №11-Макунів Стрийського ВБР і на свердловині

Таблиця 1

Результати промислових випробувань експериментальних взірців бурових
трилопатевих доліт

Типорозмір доліт	Інтервал буріння, м		Час механіч- ного бурін- ня, год	Середня проходка на долото, м	Середня механіч- на швид- кість буріння, м/год	Параметри глинистої промивальної рідини					
	від	до				ρ , кг/м ³	μ , с	Φ , см ³ /30хв	CHЗ, мг/см ²	pH	
№54-Вишнянська											
ЗЛ- 295,3 -ГП	172	330	41,0	158	3,85	1150	35	6,0	20/40	8	
№10-Орховичі											
ЗЛ- 295,3 -ГП	325	590	68,0	265	3,89	1120	35	4,5	60/80	8	
№11-Макунів											
ЗЛ- 295,3 -ГП	120	386	33,75	266	7,88	1120	26	7,0	60/120	8	
№4-Орховичі											
ЗЛ- 295,3 -Г	401	600	84,08	199	2,37	1155	40	6,0	60/90	8	
№ 30 Кулічичінського ГКР											
ЗЛ- 295,3 -ГП	690	720	1,2	30	25	1200	35	5,0	20/40	8	

Успішно випробувано і впроваджено в практику буріння бурові трилопатеві долота, оснащені гідродинамічними пульсаторами. Технологічний ефект від промислових випробувань встановив збільшення проходки на долото в 1,5 – 2 рази та механічної швидкості буріння у два рази.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення на основі експериментальних досліджень науково-практичної задачі використання гідродинамічних пульсаторів у трилопатевих бурових долотах для покращення руйнування гірських порід при бурінні свердловин. Одержано наступні основні результати.

1. В результаті проведених аналітичних і промислових досліджень визначено, що для покращення техніко-економічних показників руйнування гірських порід при бурінні свердловин, необхідне створення породоруйнівних інструментів пониженої енергоємності буріння.

2. На основі теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що технологія обробки вибою свердловини коливаннями імпульсів тиску, які створюються за допомогою пульсаторів, полягає у формуванні в зоні їх дії пульсуючих потоків промивальної рідини з високими зарядами кінетичної енергії. Встановлено зв'язок між зміною величини параметра пульсації K і зміною відношення тисків P_a / P_0 на вході і виході з пульсатора. Виявлено, що із зменшенням параметру пульсації відносна довжина каверни l_k монотонно збільшується в межах довжини насадки, а із збільшенням кута розкриття насадки пульсатора при інших рівних умовах її відносна довжина в межах насадки пристрою зменшується.

3. Розроблено конструкцію гідродинамічного пульсатора з введенням промивальної рідини по дотичному каналу для завихрення потоку рідини в циліндричній частині пульсаційної камери та в дифузорі, в яких виділяється розчинений газ (повітря) у вигляді бульбашок. При проходженні промивальної рідини через твердосплавне сопло Лавалє бульбашки під впливом зовнішнього тиску лускають. При цьому відбувається пульсаційне зменшення тиску з частотою від 1 до 12 Гц, та з амплітудою від 1 до 3 МПа.

4. Запропоновано та підтверджено експериментальними дослідженнями можливість передачі пульсаційних коливань тисків при виході потоку промивальної рідини через пульсаційно-кавітаційну камеру пульсатора та гідромоніторну насадку. Відповідна конструкція пульсатора захищена патентом України на винахід та дозволяє при збільшенні зносостійкості породоруйнівного інструменту понизити енергоємність буріння.

5. Розроблено й захищено патентом України конструкцію трилопатевого долота, в якій для зменшення енергоємності буріння в промивні вузли вмонтовано гідродинамічні пульсатори.

6. За результатами проведених досліджень впливу кавітаційно-пульсаційних потоків на процес буріння свердловин розроблено і виготовлено в Стрийському ВБР та в Науково-виробничій фірмі “Велл” три трилопатеві долота з вставками гідродинамічних пульсаторів, а озброєння доліт армовано твердостплавним надтвердим матеріалом.

7. Успішно випробувано і впроваджено в практику буріння бурові трилопатеві долота, оснащені гідродинамічними пульсаторами. Технологічний ефект від промислових випробувань встановив збільшення проходки на долото в 1,5 – 2 рази та механічної швидкості буріння у два рази.

8. Використання пульсаційних ефектів, створюваних в потоці промивальної рідини, може мати широкий спектр використання:

- суттєве збільшення проходки за один рейс доліт різних типів (алмазних, шарошкових, лопатевих);
- збільшення швидкості утворення стовбурів великого діаметру при роботі розширювачів;
- формування складних суспензій промивальної рідини;
- очищення привибійної зони свердловини з метою інтенсифікації припливу углеводнів.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО РОБОТІ

1. Яремійчук Р.С., Фем'як Я.М., Якимечко Я.Я. Руйнування гірських порід при кавітаційному бурінні свердловин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Буріння нафтових і газових свердловин. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. – Випуск 36. – Т. 2. – 1999. - С. 33 – 37. (Особистий внесок (70%) - проведено теоретичні дослідження руйнування гірських порід внаслідок ударних імпульсів тиску і коливань виникаючих за рахунок кавітаційних процесів).

2. Яремійчук Р.С., Фем'як Я.М. Інтенсифікація процесу руйнування гірських порід під час буріння свердловин внаслідок дії ультразвукової кавітації // Нафтова і газова промисловість. – 2000. – №3. – С. 15 – 16. (Особистий внесок (75%) – проведено експериментальні дослідження, щодо можливості використання кавітаційних технологій для руйнування гірських порід).

3. Фем'як Я.М., Яремійчук Р.С. Розробка оптимальних режимів кавітаційного руйнування гірських порід // Нафтова і газова промисловість. – 2000. - №6. – С. 13 – 15. (Особистий внесок (70%) – досліджено вплив критерію ерозійної активності кавітації на процес руйнування гірських порід).

4. Фем'як Я.М., Яремійчук Р.С., Якимечко Я.Я. Підвищення ефективності руйнування гірських порід // Нафтова і газова промисловість. – 2001. - №2. –

С. 16 – 17. (Особистий внесок (80%) – проведено теоретичні та експериментальні дослідження впливу потужного акустичного поля на руйнування гірських порід).

5. Фем'як Я.М. Використання кавітації для інтенсифікації руйнування гірських порід при бурінні свердловин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Буріння нафтових і газових свердловин. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – №3. – 2002. – С. 82 – 84.

6. Яремійчук Р.С., Фем'як Я.М. Вплив дії ультразвукової кавітації на процес руйнування гірських порід при бурінні свердловин // Збірник наукових праць: Матеріали 6-ї Міжнародної науково-практичної конференції “Нафта і газ України-2000”. – Т. 2. – Івано-Франківськ, 2000. – С. 15. (Особистий внесок (80%) – проведено теоретичні та експериментальні дослідження, щодо використання ультразвукової кавітації для руйнування гірських порід).

7. Яремійчук Р.С., Фем'як Я.М., Якимечко Я.Я. Руйнування гірських порід при кавітаційному бурінні свердловин // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ “Секція ГНПФ та ФНГП”. – м. Івано-Франківськ. – 1999. – С. 111 – 112. (Особистий внесок (75%) – розроблено конструкцію гідродинамічного пристрою-пульсатора).

8. Деклараційний патент України, № 43637А, МКИ Е21В10/42. Бурове трилопатеве долото / Р.С. Яремійчук, О.М. Расторгусь, М.В. Баранецький, Я.М. Фем'як, Т.Р. Шандровський. - Заявл. 18.04.2001; Опубл. 17.12.2001, Бюл. №11. – 4с. іл. (Особистий внесок (60%) – розроблено технічну документацію на виготовлення дослідного зразка долота, проведено його виготовлення та промислові випробування).

АНОТАЦІЯ

Фем'як Я.М. Підвищення ефективності руйнування гірських порід при бурінні свердловин за рахунок енергії пульсуючих потоків. – Рукопис.

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, 2007р.

Захищається 8 наукових праць, які містять теоретичні, експериментальні та промислові дослідження, направлені на покращення процесу руйнування гірських порід на вибої свердловини трилопатеви́ми долотами з вставками пульсаторів.

Запропоновано нову конструкцію гідродинамічного пульсатора з введенням промивальної рідини по дотичному каналу для завихрення потоку рідини в циліндричній частині пульсаційної камери та в дифузорі, в яких виділяється розчинений газ (повітря) у вигляді бульбашок.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень встановлено виникнення пульсацій в потоці промивальної рідини при її проходженні через пульсатор як при

відсутності тиску на виході з насадки пульсатора так і при наявності протитиску. Встановлено характер пульсації потоку, який полягає у зменшенні величин тиску на виході з насадки пульсатора з амплітудою від 1 до 3 МПа та частотою від 1 до 12 Гц, а також можливість передачі пульсаційних коливань тисків при виході потоку промивальної рідини з гідродинамічного пульсатора та гідромоніторну насадку.

Одержані результати є науково новими і мають практичну цінність. Практичне значення одержаних результатів полягає у науковому обґрунтуванні амплітудно-частотних характеристик гідродинамічного пульсатора та їх використанні для покращення техніко-економічних показників буріння свердловин.

Результати отриманих досліджень використані для удосконалення конструкції бурового трилопатевого долота.

Основні результати дисертації впроваджені в практику буріння.

Ключові слова: гідродинамічний пульсатор, промивальна рідина, пульсуючий потік, кавітаційно-пульсаційна камера, трилопатеве бурове долото.

АННОТАЦИЯ

Фемяк Я.М. Повышение эффективности разрушения горных пород при бурении скважин за счет энергии пульсирующих потоков. – Рукопись.

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, 2007.

Защищается 8 научных работ, содержащих теоретические, экспериментальные и промышленные исследования, связанные с интенсификацией процессов разрушения горных пород за счет воздействия на них пульсационных потоков промывочной жидкости. Сущность нового способа возбуждения разнообразных по величине импульсов и колебаний давления с широким диапазоном частот и амплитуд состоит в том, что с помощью гидродинамического пульсатора на забое скважины последовательно создаются колебания импульсов давления различной амплитуды и широкого спектра гармоник.

В гидросистеме, содержащей такое устройство, при определенных условиях течения промывочной жидкости проявляются разные гидродинамические явления. С целью получения наглядных результатов этих явлений разработана специальная экспериментальная установка. С механизма работы гидродинамического пульсатора следует, что можно использовать как специальный выбор состава и физико-химических параметров промывочной жидкости, так и конструктивные особенности пульсатора, способствующие турбулизации жидкости и формированию различных режимов пульсационных потоков жидкости вследствие захлопывания образовавшихся паровых или газовых пузырьков. При этом происходит пульсационное уменьшение давления с частотой от 1 до 12 Гц та с амплитудой от 1 до 3 МПа.

Экспериментальными исследованиями установлена возможность возникновения и передача пульсационных колебаний при истечении промывочной жидкости сквозь пульсационно-кавитационную камеру та гидромониторное сопло. С характера пульсационных потоков установлено мгновенное уменьшение давления после пульсатора, которое способствует отделению выбуренной породы от забоя скважины. Пульсационные течения прекращаются как при малых значениях параметра пульсации, которым соответствует развитый режим пульсационного течения, так и при больших значениях параметра пульсации, которым соответствуют сравнительно небольшие размеры пульсационных потоков. Установлено, что с уменьшением параметра пульсации относительная длина полости (каверны) растет, а с увеличением угла раскрытия сопла пульсатора при других равных условиях относительная длина пульсационной полости в границах сопла устройства уменьшается. Исследовано, что для пульсационных устройств колебаний угол расширения струи жидкости имеет большее значение, чем угол расширения струи жидкости после насадки гидромонитора. Установлено, что для всех режимов по давлению на входе в гидродинамическое устройство с уменьшением параметра пульсации амплитуда пульсационных колебаний увеличивается и достигает максимального значения при $K \approx 0,3$, а затем уменьшается. Пульсационные автоколебания наблюдаются при $K = 0,1 \div 0,6$. Методика гидродинамических явлений может использоваться при проектировании и эксплуатации буровых долот, в состав которых входит гидродинамический пульсатор.

Разработана новая конструкция бурового трехлопастного долота, эффективность работы которого достигается увеличением его проходки и механической скорости бурения за счет гидродинамических устройств-пульсаторов, вмонтированных в промывочные узлы долота под разными углами уклона относительно оси долота. Предварительные эксплуатационные испытания бурового трехлопастного долота показали его работоспособность и эффективность. Использование долота в промышленных условиях обеспечивает увеличение механической скорости бурения в 1,5 – 2 раза за счет интенсивности разрушения пород, подтверждая тем самым своеобразие использования пульсаторов в решении проблем эффективного разрушения горных пород при бурении скважин.

Основные результаты диссертации внедрены в практику бурения.

Ключевые слова: гидродинамический пульсатор, промывочная жидкость, пульсационный поток, кавитационно-пульсационная камера, трехлопастное буровое долото.

ABSTRACT

Femyak Y. M. Effective Increase of Rock Destruction When Drilling Wells by Means of Flow Pulsating Energy. – Manuscript.

Dissertation for a candidate degree in engineering. Specialty 05. 15. 10. – Drilling of boreholes. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2007.

There have been 8 scientific works presented for defence, which contain theoretical, experimental and industrial investigations, directed towards improving the process of rock destruction at the borehole bottom by means of three-blade drilling bits with pulsator inserts.

There has been suggested new construction of hydrodynamic pulsator with input of drilling fluid along the channel for back washing of the fluid flow in the cylinder part of the pulsating chamber and in the diffuser in which the dissolved air is released in the form of bulles.

On the basis of theoretical and experimental research it was determinacy that pulsations occur in the drilling fluid flow when it goes through pulsator when there is no pressure at all as well as when antipressure is available. The character of the pulsating flow has been determined, which is in the decrease of pressure at the outlet of pulsator head with the amplitude of 1 to 3 MGP and frequency of 1 to 12 Herts. Transmission of pulse pressure range to hydromonit head when the drilling fluid flow leaves the hydrodynamic pulsator has also been determined.

The results obtained are new and have practical value. Practical significance of the results is in the scientific substantiation of amplitude frequency characteristics of hydrodynamic pulsator which are to be used to improve technical and economic indices of borehole (well) drilling.

The results obtained were used to improve the design of three-blade drilling bit.

The main results of the dissertation have been implemented into drilling practice.

Key words: hydrodynamic pulsator, drilling fluid, pulsating flow, cavitation-and-pulsating chamber, three-blade drilling bit.