

Техніка і технології

УДК 622.274

РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ БУРІННІ СВЕРДЛОВИН З ВИКОРИСТАННЯМ КАВІТАЦІЙНО-ПУЛЬСАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В.Р.Возний, Я.М.Фем'як, Р.С.Яремійчук

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42331,
e-mail: oveoki@rambler.ru

Розглянуто проблему щодо підвищення руйнування гірських порід при бурінні свердловин на нафту і газ за допомогою використання пульсуючого для кавітації пристрою, його впливу на стан порід. На основі експериментальних досліджень розглянуті також перспективи, переваги і обмеження при застосуванні пульсатора.

Рассмотрена проблема относительно повышения разрушения горных пород при бурении скважин на нефть и газ с помощью использования кавитационно-пульсирующего устройства, его влияния на состояние пород. На основе экспериментальных исследований рассмотрены также перспективы, преимущества и ограничения при применении пульсатора.

In the article a problem is considered in relation to the increase of destruction of mountain breeds at well-drilling on oil and gas by the use of cavitation-pulsating device that his influences on the state of breeds. On the basis of experimental researches considered also prospect, advantage and limitation at application of pulsator.

І. Постановка проблеми. Враховуючи дефіцит вуглеводнів, який сьогодні спостерігається в паливно-енергетичному комплексі України, національною програмою “Нафта і газ України” передбачено розширити об’єми буріння і зменшити терміни будівництва свердловин. Буріння свердловин складається з низки технологічних операцій різних за своєю тривалістю та енерговитратами. Одні з цих операцій є відносно стабільними і залежать, в основному, від кваліфікації персоналу: інші – від техніко-технологічних методів руйнування гірських порід на вибої свердловин. Особлива увага приділяється пошукам більш раціонального розподілу енергії, яка витрачається на механічне руйнування гірської породи. Тому пошук ефективних технологій руйнування гірських порід під час буріння свердловин є сьогодні актуальним не тільки в Україні, але й у провідних нафтогазовидобувних країнах світу.

ІІ. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню впливу нових конструктивних параметрів породоруйнівних інструментів на ефективність руйнування порід і закономірностей їх динамічної взаємодії з породою присвячено низку досліджень вітчизняних і зарубіжних науковців. Найбільш відомі серед них

належать Ю.Ф. Алексєєву, Б.В. Байдюку, В.І. Векеріку, Р.М. Ейгелесу, М.А. Колеснікову, М.Р. Мавлютову, А.М. Попову, А.І. Співаку, Л.А. Шрейнеру та іншим. Ними доведено, що саме фізико-механічне бачення свердловинних процесів призводить до виявлення єдиної наукової основи, яка враховує вплив геологічного розрізу і навколишнього 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 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.

Наприклад, в роботі Б.В. Байдюка [1] узагальнено фізико-механічну оцінку процесів поглиблення вибою свердловини. З усіх можливих способів поглиблення свердловини найбільш поширеним є механічне руйнування вибою шляхом впорядкованого покриття його буровим долотом та видалення зруйнованої і

передзруйнованої породи струменем промивальної рідини. Магістральні тріщини необхідні для роз'єднання відразу великих об'ємів зруйнованої породи. Задача полягає в тому, щоб направлена енергія витрачалася лише на утворення за допомогою цих тріщин нової поверхні. При одиничному акті руйнування породи на утворення тріщини витрачається лише 8-12% підведеної енергії. Для повного досягнення тріщиною кінцевої глибини (із частковим деформуванням зрізаного конуса) необхідно 10-12% і для сколювання консолі – 6-8% загальної енергії. Решта 68-76% енергії витрачається на роздавлювання зрізаного конуса, пружну деформацію породи і сколюючих частинок, тертя на поверхнях тощо. Максимальну частину підведеної енергії складає енергія пружної деформації породи, яка практично не приймає участі в утворенні об'єму руйнування.

III. Виділення невирішених частин загальної проблеми. Сучасний процес руйнування породи буровим долотом з енергетичної точки зору є вкрай неефективним. Знизити енергетичні витрати можна лише тоді, коли будуть створені умови для одночасного руйнування ядра і розділюючої консолі, тобто коли відбудеться зменшення модуля пружності породи в зоні руйнування, зменшення деформацій, а також ефективного відриву частинок породи в межах утворених тріщин.

Перспективним на даний час можна вважати метод кавітаційно-імпульсного руйнування гірських порід. За останні роки в Україні та Росії опубліковано низку робіт з використанням пульсаційно-хвильових технологій при бурінні свердловин [2-6]. Суть таких способів збудження різноманітних за величиною ударних імпульсів і коливань тиску у широкому діапазоні частот полягає в тому, що на основі утворення газової фази в рідинних системах за допомогою спеціального пристрою-кавітатора (пульсатора) на вибої і в привибійній зоні свердловини послідовно створюються численні пухирці різних розмірів, заповнені газом або повітрям. Ці пухирці, потрапивши в зону високого тиску, лускають з виникненням ударних імпульсів тиску різної амплітуди і широкого спектру гармонік коливань тиску в привибійній зоні свердловини.

Невирішеними на даний момент залишаються питання щодо можливості оцінки характеру пульсацій та практичного їх впливу на дослідні взірці гірських порід.

IV. Постановка задачі. Одним з основних завдань є експериментальні дослідження робочих характеристик кавітаційно-пульсаційних пристроїв та можливість їх використання в практичних цілях для руйнування гірської породи при спорудженні свердловини. Очевидно, що змінюючи геометричні параметри кавітаторів можна добитися збільшення або зменшення інтенсивності кавітаційно-пульсаційних потоків.

V. Основний матеріал дослідження. Нами (2002–2007 рр.) в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу розроблено гідродинамічний пульсатор та експериментальну установку, конструкції яких та принципи роботи описано у роботах [7-9]. З метою перевірки можливостей використання кавітаційної пульсації було виготовлено три трилопатеві долота з встановленням в них пульсаторів. Відпрацювання доліт при бурінні свідчить, що проходка на долото у співставних умовах зросла в 3–4 рази, а механічна швидкість буріння в 2,2 рази. Подальші промислові випробування свідчать, що внутрішня поверхня вихрової камери пульсатора руйнується під впливом енергії лускаючих пухирців, тому перед нами стоїть проблема збільшення стійкості цих камер.

Експериментальні дослідження ефекту створення пульсаційного потоку проводилися в тампонажному управлінні ВАТ “Укрнафта” (м. Долина) з використанням насосного агрегату типу 4АН-700 та американської станції контролю гідророзриву пластів фірми “Kenworth” за схемою, яку зображено на рис. 1.

В процесі досліджень проводилися заміри тисків на вході в пульсатор та після пульсатора в автономному режимі через американські датчики високих тисків типу “Viatran Model 5093 BPG AW200”, зняті значення показників яких через кожні 2 с записувалися на комп'ютер станції контролю. Тиск на вході в пульсатор регулювався агрегатом, виходячи з врахування його робочих можливостей, а тиск в середині установки дросельною засувкою, яку вмонтовано на викидній лінії. Замір та запис показів датчиків тиску проводився при послідовній зміні тиску на вході за різних режимів роботи насосного агрегату (від 3 до 12 МПа), а також при переході з відкритої до наполовину закритої дросельної засувки.

Експериментальними дослідженнями встановлено (див. рис. 2), що при проходженні робочої рідини через пульсатор формується пульсуючий потік з амплітудою до 3 МПа та частотою від 1 до 20 Гц в сторону зменшення тиску. У випадку створення протитиску в 2 МПа, що відповідає глибині свердловини 200 м, частота коливань тисків коливалась від 12 до 24 Гц.

Дослідження проводилися в чотири етапи. В якості робочої рідини було використано глинистий буровий розчин з такими параметрами: $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$; $UV = 7 \text{ см}^3/30 \text{ хв.}$; $pH = 8$; $CH_3 / 110 = 98/134 \text{ дПа}$; $K = 1 \text{ мм}$. На першому етапі на дно експериментальної установки встановили взірець гірської породи – пісковик на віддалі 25 мм від вихідного перерізу насадки пульсатора. Прокачування робочої рідини через кавітатор-пульсатор здійснювали протягом 20 хв за робочого тиску 5-6 МПа. Після зупинки процесу було виявлено на поверхні пісковіку ерозійну лунку з об'ємом 4 см^3 (див. рис. 3).

Аналогічні дослідження проведено зі зразками мармуру, вапняку і доломіту. Відстань від виходу потоку з робочої камери до контакту з поверхнею при дослідженні взірців пісковіку і



1 – насосний агрегат 4АН-700; 2 – нагнітальна лінія; 3 – експериментальна установка; 4 – викидна лінія; 5 – давач тиску типу “Viatran Model 5093 BPG AW200”

Рисунок 1 – Технологічна схема об'язки обладнання при експериментальних дослідженнях пульсатора

3 протитиском 2 МПа

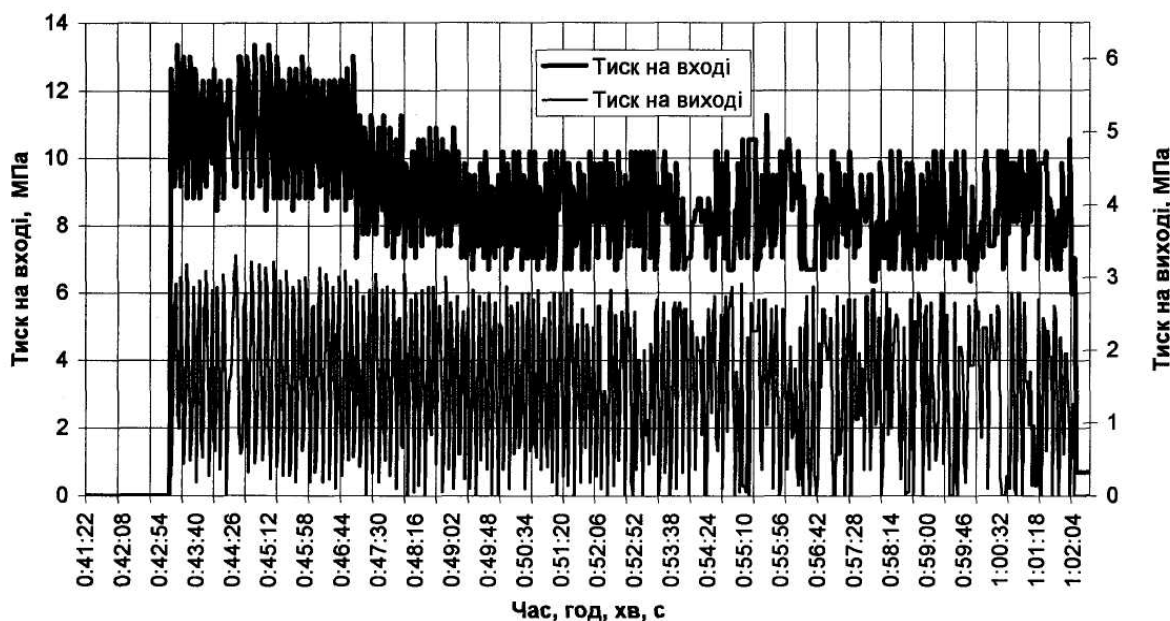


Рисунок 2 – Графічна інтерпретація результатів дослідження роботи пульсатора з діаметром насадки 14 мм на глинистій промивальній рідині

Таблиця 1 – Результати досліджень руйнування різних видів порід у кавітаційно-пульсуючому потоці

Тип гірської породи	Твердість, МН/м ²	Час дії, хв	Відстань від поверхні до насадки, мм	Тиск агрегату, МПа	Об'єм лунки, см ³
Пісковик	1337	20	25	5 – 6	4
Мармур	1504	20	25	5 – 6	2
Вапняк	839	15	30	4 – 5	1,5
Доломіт	783	15	30	4 – 5	2,5

мармuru складала 25 мм, а при дослідженні вапняку і доломіту склав 30 мм. Час взаємодії потоку з взірцями пісковика і мармuru склав

20 хв, а з взірцями вапняку і доломіту склав 15 хв. Основні результати досліджень представлено у табл. 1.

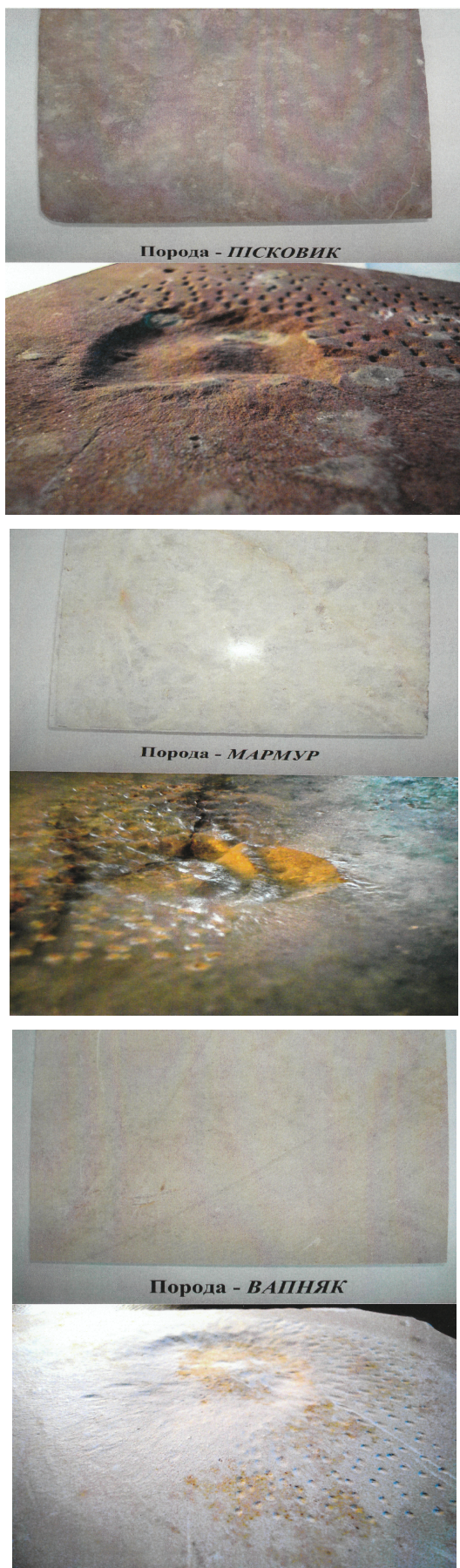


Рисунок 3 – Вигляд досліджуваних взірців гірських порід до і після дії на них кавітаційно-пульсуючих потоків

Експериментальні дослідження підтвердили можливість кавітаційного руйнування різних типів порід без взаємодії індентора з породою. Величина об'єму ерозійного руйнування під впливом вихрових кавітаційних струменів складала від $1,5 \text{ см}^3$ до 4 см^3 .

Характер витягнутої за напрямком до центру ерозійного впливу лунки вказує на те, що частинки породи відривалися від взірця дрібними частками. При цьому у центральній частині зони впливу на взірць, утворився виступ, який свідчить про кільцеподібне руйнування породи кавітаційним потоком.

При дослідженнях гідродинамічного пульсатора на установці спостерігався багатотокальний 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.

Виходячи з того, що пульсація триває певний час, можна зробити висновок, що найбільш важким є перший етап механічного розриву рідини. Після того, як він відбувся, пульсаційний режим немов би сам себе стабілізує, причому степінь стабілізації стає тим більшим, чим меншими були тиски у відповідному безпульсаційному потоці. Частково ця обставина може бути викликана пружними деформаціями стінок гідродинамічного пульсатора і відповідним зростанням місцевих негативних тисків, які супроводжують пульсаційні процеси. Очевидно, що розміри і конструкція вихідних діаметрів насадок гідродинамічного пульсатора дає можливість забезпечити мінімально-необхідний перепад тиску в ньому. Тому під час прокачування промивальної рідини через пульсатор формується нерівномірний пульсуючий потік рідини, який характеризується збільшенням або зменшенням тиску при лусканні пухирців газу (повітря).

VI. Висновки. Проведені дослідження дають змогу судити про збільшення проходки на долото та механічної швидкості буріння за рахунок того, що фільтрат промивальної рідини проникає в утворені тріщини, а при лусканні пухирців за рахунок багаторазового зменшення тиску на вибої свердловини порода відривається від гірського масиву та виноситься потоком рідини на поверхню. Зростання швидкості буріння та проходки на долото може забезпечити зменшення енерговитрат до двох разів.

Література

1 Байдюк Б.В. Физико-механические основы процессов бурения скважин / Б.В. Байдюк // Газовая промышленность. – Москва, 1993. – 84 с. – (Серия “Бурение газовых и газоконденсатных скважин”).

2 Яремійчук Р. Інтенсифікація процесу руйнування гірських порід під час буріння свердловин внаслідок дії ультразвукової кавітації / Роман Яремійчук, Ярослав Фем'як // Нафтова і газова промисловість. – 2000. – №3. – С. 15-16.

3 Фем'як Я. Розробка оптимальних режимів кавітаційного руйнування гірських порід / Ярослав Фем'як, Роман Яремійчук // Нафтова і газова промисловість. – 2000. – №6. – С. 13-15.

4 Підвищення ефективності руйнування гірських порід / Я.М. Фем'як, Р.С. Яремійчук, Я.Я. Якимечко // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – №2. – С. 16-17.

5 Ибрагимов Л. Интенсификация добычи нефти с применением генераторов затопленных турбулентных струй и адиабатных двухфазных потоков / Лега Ибрагимов // Нефтегазопромышленное дело. – 1996. – №6. – С. 44-49.

6 Розроблення методики практичного розрахунку оптимізації кавітаційно-пульсаційного методу інтенсифікації припливу вуглеводнів / В.Р. Возний, С.О. Овечкий, Я.М. Фем'як, М.В. Марусич // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – №2. – С. 35-37.

7 Экспериментальное исследование энергии пульсирующих потоков для повышения эффективности разрушения горных пород при бурении скважин / Р.С. Яремийчук, Я.М. Фем'як, В.Р. Возный // Технологии нефти и газа. Научно-технологический журнал. – 2008. – №4. – С. 32-35.

8 Методика і аналіз експериментальних даних досліджень роботи вихрового гідродинамічного пульсатора / Р.С. Яремійчук, В.Р. Возний, Я.М. Фем'як, Я.Я. Якимечко // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – №1. – С. 19-21.

9 Покращення процесу руйнування гірських порід за рахунок пульсуючих потоків / Я.М. Фем'як, Р.С. Яремійчук, В.Р. Возний, Я.Я. Якимечко, В.В. Федорів // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – №3. – С. 19-20.

Стаття постуила в редакційну колегію
3.03.09

Рекомендована до друку професором
Мойсишиним В.М.