

# ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
**ФЕМ'ЯКА ЯРОСЛАВА МИХАЙЛОВИЧА**

**«Теорія та практика використання кавітаційних процесів при бурінні свердловин»**, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.10 – Буріння свердловин.

## **1. Актуальність теми дисертаційної роботи.**

Традиційні технології буріння свердловин вичерпали свої потенційні можливості. Це обумовлено природною закономірністю зменшення вибійної потужності при бурінні з використанням породоруйнівного інструменту в зв'язку зниженням параметрів режиму буріння - частоти обертання, осьового навантаження, кількості промивальної рідини - з ростом глибини свердловини.

Разом з тим значним резервом підвищення ефективності руйнування гірської породи при бурінні, який не реалізується повною мірою, є енергія кавітаційно-пульсаційної дії потоку бурового розчину. Тому, виключно важливим є питання вивчення процесу інтенсифікації руйнування гірської породи при застосуванні науково обґрунтованої кавітаційно-пульсаційної технології буріння, яка реалізується шляхом штучного створення кавітаційних ефектів, що генеруються на вибої.

Впроваджуючи в практику буріння кавітаційно-пульсаційну технологію вирішуються дві задачі: перша, розкривається та вивчається взаємодія механічних та фізичних процесів на вибої свердловини для визначення раціональних параметрів кавітаційно-пульсаційної дії на масив гірської породи при бурінні стандартними буровими долотами; друга, необхідність забезпечення відповідного кавітаційно-пульсаційного режиму на вибої, за якого зберігається стійкість параметра кавітації, який залежить від процесу утворення та росту розмірів пухирців, від зміни перепаду тиску та густини промивальної рідини, а також співвідношення розмірів насадок кавітаційного пристрою.

Тому, вирішення актуальної науково-практичної задачі, яка полягає у встановленні раціональних параметрів кавітаційно-пульсаційної дії на масив гірської породи при бурінні стандартними буровими долотами, що забезпечує інтенсифікацію процесу руйнування гірської породи є обґрунтованим, особливо у зв'язку із зростаючими обсягами буріння.

Роботу виконано відповідно до прийнятою Кабінетом Міністрів України «Загальнодержавною програмою розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року».

## **2. Загальна оцінка змісту дисертаційної роботи та її завершеність.**

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків і містить 308 сторінок машинописного тексту, у тому числі 61 рисунок (з них 5 на окремих аркушах), 26 таблиць, списока використаної літератури з 196 найменування на 20 сторінках і 6 додатків на 32 сторінках.

Композиція і структура дисертації є логічними та виваженими. Логіка викладення тексту дисертації починається із змісту дисертації та продовжується в усіх її розділах.



**У першому розділі** наведено основні відомості про кавітаційно-пульсаційну технологію бурінні свердловин, виконано огляд досліджень за тематикою роботи. Показано, що одним з найперспективніших методів руйнування гірських порід є метод кавітаційно-пульсаційного впливу на породу. Реалізація такого впливу можлива під час обертового буріння за рахунок переведення промивки свердловини в кавітаційний режим. Водночас показано можливості використання кавітаційної пульсації потоку рідини в інших напрямках гірничої галузі, наприклад для імпульсного впливу на вугільний пласт, боротьби з газовими і пиловими факторами в шахтних виробках, розширенні діаметра обсадних труб, приготуванні бурових розчинів, а також інтенсифікації процесів нафтовіддачі пластів при їх обводненні, селективному гідророзриві пластів в межах розкритої їх товщі, тощо.

**У другому розділі** проведено систематизацію кавітаційно-пульсаційних режимів промивання при бурінні на основі теорії спектрів. Розроблено теоретичні основи керування кавітаційно-імпульсною дією на вибій свердловини в умовах такого режиму промивання. На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень проведено обґрунтування можливості використання режиму кавітаційно-пульсаційної подачі промивальної рідини при бурінні стандартними буровими долотами для підвищення ефективності руйнування гірської породи за рахунок ефективнішого використання енергії на вибої свердловини.

**У третьому розділі** роботи досліджено кавітаційно-пульсаційний режим промивання з пухирцевим режимом течії. На основі виведення рівняння Релея виведено рівняння руху стінки кавітаційного пухирця у нестисливій рідині і його розв'язки. Крім того, отримано нелінійне рівняння, що описує динаміку кавітаційного пухирця з урахуванням сил поверхневого натягу і в'язкості рідини; виведено формулу, яка дозволяє визначити період коливань кавітаційного пухирця в залежності від співвідношення між гідростатичним тиском і тиском на відповідній глибині. Результати досліджень дають змогу встановити розподіл тиску при русі рідини, в якій знаходиться кавітаційний пухирець з відповідним радіусом на довільній відстані.

**У четвертому розділі** розглянуто математичну модель та методи прогнозування кавітаційних режимів течії рідини на основі нелінійних коливань кавітаційного пухирця, що дозволяють більш повно враховувати конструктивні особливості кавітаційних пристроїв, особливості фізичних процесів, що відбуваються на вибої свердловини, та враховують кавітаційно-пульсаційний режим подачі промивальної рідини. Отримано нове лінійне інтегрально-диференціальне рівняння, що описує динаміку кавітаційного пухирця при дії амплітудно-частотного спектру хвиль тиску, які створюються внаслідок лускання пухирців в полі набігаючої хвилі заданої конфігурації. На основі виведеного інтегрально-диференціального рівняння отримано нову формулу для визначення амплітудно-частотного спектру в залежності від параметрів середовища та набігаючої хвилі.



У п'ятому розділі розроблено методику розрахунку кавітаційно-імпульсного способу руйнування гірських порід. Встановлено гідродинамічну ув'язку конструктивних параметрів кавітатора з масивом гірської породи. Поставленими експериментальними дослідженнями: визначено оптимальні розміри кавітаційних пухирців; встановлено залежності, які дозволяють оцінити ріст розмірів кавітаційних пухирців від зміни перепаду тиску та густини промивальної рідини, а також співвідношення розмірів насадок кавітатора. Експериментально підтверджено можливість кавітаційного руйнування гірських порід, таких як: пісковик; вапняк; доломіт; мармур.

У шостому розділі дисертації наведено перспективи кавітаційно-пульсаційного режим промивання на гірську породу завдяки покращенню конструкцій бурильного інструменту. Промисловими випробуваннями наддолотного перехідника з вмонтованим кавітаційним пульсатором доведено його роботоздатність. Запропоновано нову конструкцію бурового долота, що дозволяє підсилити кавітаційно-пульсаційний ефект завдяки розміщенню співвісно до кавітаційних камер кавітатора стрижнів із зовнішньою гвинтовою поверхнею, що інтенсифікують генерування кавітаційних пухирців і досягається максимальний ефект в руйнуванні долотом масиву гірської породи.

### **3. Повнота висвітлення результатів в опублікованих працях, апробація роботи.**

Основні наукові положення і результати дисертації опубліковані в 35 наукових працях, з них 1 монографія, 15 статей у фахових виданнях, що входять до переліку МОН України, 6 статей в зарубіжних виданнях (у т. ч. 1 стаття, що індексується в науково-метричній базі Scopus), 8 статей в матеріалах наукових конференцій, 5 патентів.

### **4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації, їх достовірність і новизна.**

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується використанням фундаментальних законів збереження енергії, механіки рідин, коректністю зроблених припущень, всебічним тестуванням розробленої методики практичного розрахунку оптимізації кавітаційно-пульсаційної дії на гірські породи при бурінні свердловини.

Для обґрунтування отриманих результатів, висновків і рекомендацій автор використовує відомі наукові методи: аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень в досліджуваній галузі, методи математичного, фізичного моделювання, числові методи рішення.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи обґрунтовано результатами теоретичних, експериментальних та виробничих досліджень. Експериментальні дослідження виконано на сучасному лабораторному устаткуванні.

Достовірність наукових положень, що захищає автор, базується на застосуванні фундаментальних положень теорії наукового експерименту і теорії випадкових процесів, достатнім обсягом виконаних експериментів.



Про обґрунтованість і вірогідність свідчать результати порівняльного аналізу теоретичних та експериментальних досліджень. Відповідні значення співпадають з точністю до  $80 \div 95 \%$ .

Наукове значення роботи полягає в розвитку теорії інтенсифікації руйнування гірських порід при бурінні під впливом нестационарних кавітаційних процесів, що відбуваються на вибої свердловини при її пульсаційному промиванні та взаємодії коливань імпульсів тиску з гірським масивом при бурінні, а також встановленні нових закономірностей, що зв'язують параметри руйнування породи при бурінні з параметрами кавітаційних процесів на вибої при пульсаційному промиванні. Автором вперше:

- із залученням теорії спектрів, при дослідженні керованої руйнівної дії кавітації на гірську породу вибою свердловини, запропоновано систематизацію кавітаційно-пульсаційних процесів;

- запропоновано математичну модель, що описує динаміку кавітаційного пухирця з урахуванням сил поверхневого натягу і в'язкості рідини;

- встановлено оптимальні розміри кавітаційних пухирців у якості основного оптимізаційного параметра. Одержані залежності, які дозволяють оцінити ріст розмірів кавітаційних пухирців від зміни перепаду тиску та густини промивальної рідини, а також співвідношення розмірів насадок кавітатора. Визначено оптимальний перепад тиску для промивальних рідин та співвідношення діаметрів насадок кавітатора від цілісності потоку рідини з внутрішнім гідроударом.

Особливої уваги заслуговує встановлення закономірностей: які визначають амплітудно-частотний спектр лускання кавітаційних пухирців та впливу конструктивних параметрів кавітаторів для реалізації ефективної кавітаційно-пульсаційної дії, забезпечення стабілізації роботи кавітатора та якості буріння.

Здобувачем показано нові можливості підвищення ефективності руйнування гірської породи при бурінні шляхом удосконалення конструктивного виконання бурового інструменту.

### **Практична цінність одержаних результатів.**

Використання результатів наукових досліджень та розробок забезпечить інтенсифікацію руйнування гірських порід при бурінні під впливом нестационарних кавітаційних процесів, що відбуваються на вибої свердловини при її пульсаційному промиванні та взаємодії коливань імпульсів тиску з гірським масивом.

Впровадження розробленої методики розрахунку оптимізації кавітаційно-пульсаційної дії на гірські породи, обґрунтування конструктивних параметрів пульсуючих пристроїв на формування кавітаційних процесів та розробка рекомендацій і технічних рішень з удосконалення конструкції бурового інструменту, дозволить знизити енергоємність процесу руйнування гірської породи та забезпечить підвищення механічної швидкості буріння та проходки на долото.



## **5. Реалізація результатів досліджень.**

Розроблені за результатами роботи методичні рекомендації щодо практичного розрахунку оптимізації кавітаційно-пульсаційної дії на гірські породи при бурінні свердловини затверджені ПрАТ «Нафтогазвидобування», ТОВ «Ендейвер» і ТОВ «Денімекс Юкрейн» та рекомендовані до використання у виробничих умовах.

Результати досліджень використані в навчальному процесі при викладанні спеціалізованих дисциплін студентам, що навчаються за освітньо-професійною програмою «Буріння свердловин» у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу.

Дисертація в повному обсязі доповідалась та обговорювалась на науковому семінарі кафедри буріння свердловин Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

## **6. Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації.**

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертаційної роботи.

## **7. Зауваження щодо змісту та оформлення роботи.**

Відзначаючи наукову та практичну цінність дисертації Фем'яка Я. М., варто зазначити такі зауваження:

1. Тема дисертаційної роботи сформульовано невдало. На мій погляд, дисертація на здобуття наукового ступеня доктора наук повинна починатися зі фраз «Наукове обґрунтування..., Наукові основи...».

2. При написанні тексту дисертації та автореферату автор в окремих випадках не витримував вимог закону тотожності, який вимагає використання понять однозначного характеру і виключають невизначеність, наприклад: «кавітаційно-пульсаційний режим», «кавітаційно-хвильові збурення», «кавітаційно-пульсаційної дії»; «кавітаційно-пульсаційної технології», «технології кавітаційної пульсації потоку».

3. В розділі 3 отримано рівняння динаміки кавітаційного пухирця. Слід було показати, як ці рівняння можна використати при створенні пульсаційно-хвильової технології впливу промивального розчину на руйнування гірської породи.

4. В четвертому розділі рукопису наведено результати дослідження динаміки коливань кавітаційного пухирця. Необхідно було показати, як отримана інформація може бути використана для підвищення ефективності руйнування гірської породи.

5. У рукопису кваліфікаційної роботи говориться, що «використання кавітаційної пульсації потоку промивальної рідини сприяє зменшенню енерговитрат, скерованих на руйнування масиву порід, майже на 30 %, причому забезпечується зростання швидкості буріння та проходки на долото, що призводить до скорочення часу, відведеного на спорудження свердловини».

З рукопису дисертації незрозуміло, на чому ґрунтується ці висновки. У рукописі і в додатках, незважаючи на наявність акту свердловинних досліджень, відсутній матеріал свердловинних досліджень, з яких можна було б



досліджень, відсутній матеріал свердловинних досліджень, з яких можна було б судити про геолого-технічні умови, методики проведення дослідно-виробничих досліджень. А також про результати цих досліджень.

Крім того незрозуміло чому, за наявності результатів свердловинних досліджень, не визначені техніко-економічні показники.

6. У розділі 6 здобувачем некоректно приведені схеми (рис. 6.2 - 6.4) бурового інструменту. Якщо цей інструмент виготовлявся на виробництві, то має бути конструкторська документація, елементи якої мали б бути приведені.

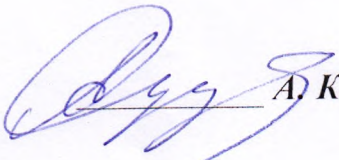
### Висновок.

Дисертаційна робота Фем'яка Ярослава Михайловича «Теорія та практика використання кавітаційних процесів при бурінні свердловин», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.10 – Буріння свердловин є завершеною науковою роботою. Назва дисертації відповідає змісту наукової роботи з чітким і зрозумілим стилем викладення.

Автореферат дисертації відповідає основним положенням її рукопису, в якому на основі теоретичних, експериментальних та промислових досліджень вирішено важливу науково-технічну проблему, пов'язану з розробкою технології інтенсифікації руйнування гірських порід при бурінні свердловин.

Робота відповідає вимогам п. 9,10 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів...» Кабінету Міністрів України, а її автор Фем'як Ярослав Михайлович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.10 - Буріння свердловин.

**Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри нафтогазової  
інженерії та буріння  
НТУ «Дніпровська політехніка»**

  
А. К. Судаков

Підпис Судаков А.К.  
засвідчую:  
вчений секретар  
Вченої ради Дашук  
О.Н. Демішова



Відгук надіслано в спец. секретарю Дно. 05.10.2015 15.11.2019.  
вчений секретар спец. вченої ради Ковбасюк і. 14.1

Підпис(и) Л.В. Ковбасюк  
посвідчую  
Учений секретар ІФНТУНГ Л.В. Ковбасюк / 6