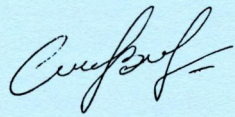


622.24.051  
С89

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

СУПРУН МИХАЙЛО ВІКТОРОВИЧ 

УДК 622.24.051 (043)  
С89

**ПІДВИЩЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ АЛМАЗНИХ  
БУРОВИХ КОРОНОК В ТВЕРДИХ ПОРОДАХ**

05.15.10 – Буріння свердловин

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля Національної академії наук України, м. Київ.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
**Закора Анатолій Петрович,**  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля  
НАН України, м. Київ,  
старший науковий співробітник

Офіційні опоненти: доктор технічних наук  
**Кунцяк Ярослав Васильович,**  
ПрАТ «Науково-дослідне і конструкторське бюро  
бурового інструменту», м. Київ,  
генеральний директор

доктор технічних наук, професор  
**Кожевников Анатолій Олександрович,**  
Національний гірничий університет Міністерства освіти і  
науки України, м. Дніпропетровськ,  
професор кафедри техніки розвідки родовищ корисних  
копалин

Захист відбудеться «20» жовтня 2016 року о 10 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

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

Автореферат розісланий «7» вересня 2016 року

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент

І.М. Ковбасюк



## АГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Розвиток власної мінерально-сировинної бази держави є однією з найважливіших науково-технічних проблем. Для успішного вирішення цієї проблеми Державним комітетом природних ресурсів України розроблена та впроваджується «Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази України», згідно з якою роботам з геологорозвідувального буріння на тверді корисні копалини надається першочергове значення.

Буріння геологорозвідувальних свердловин при розвідці родовищ корисних копалин, як область застосування алмазного породоруйнівного інструмента підвищеної роботоздатності, є однією з найбільш потрібних, але й найбільш складних щодо умов його роботи. При цьому частка витрат на інструмент у загальній вартості геологорозвідувальних робіт з буріння свердловин є тим вищою, чим більш важкоруйнівними та абразивними є гірські породи. Тому при розробці нових конструкцій бурового інструмента задля підвищення його роботоздатності необхідно враховувати фізико-механічні властивості гірських порід, що підлягають бурінню, та їх взаємодію з породоруйнівними елементами інструмента.

Великий обсяг бурових робіт при розвідці корисних копалин здійснюється у твердих породах. Тому розробка інструментів для цього класу порід є найбільш перспективним і економічно виправданим напрямком. Саме з такої точки зору в цьому дослідженні представлені найбільш сучасні та оригінальні шляхи підвищення техніко-економічних показників буріння свердловин інструментом, оснащеним полікристалічними надтвердими матеріалами.

Слід зазначити важливу обставину, що існуючий серійний алмазний буровий інструмент, який використовується під час буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих породах не відповідає сучасним вимогам до показників механічної швидкості буріння та проходки.

Рішенням даної задачі може бути розробка нового інструмента з комбінованим (стирання та сколювання) характером руйнування порід на базі використання більш твердих і зносостійких вставок з алмазного композиційного матеріалу.

При цьому процес створення нових алмазних бурових коронок, оснащених різними видами надтвердих матеріалів, фізично не можливий без вивчення механізму руйнування гірської породи алмазною буровою коронкою, а особливо питанням розподілу осьового навантаження між цими матеріалами, розташованими на поверхні алмазовмісної матриці коронки.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України в межах таких тем: 0954 «Розробка методу прогнозування зносостійкості і ріжучих властивостей породоруйнівних вставок доліт на основі математичного моделювання контактної взаємодії інструменту з породою», № держреєстрації 0102U006094; 0966 «Розробка наукових та технологічних основ створення двошарових алмазовмісних елементів та крупних термостійких монокристалів алмазу для породоруйнівного та металообробного інструменту різцевого типу», № держреєстрації 0111U000630;

*an 2613 - an 2614*

0130 «Дослідження та оптимізація технологічних параметрів формування ультра-твердих матеріалів з гібридною алмазною основою та зносостійкого композитного наповнювача матриць робочих елементів геологорозвідувального інструменту», № держреєстрації 0110U001985; 0132 «Формування алмазовмісних матеріалів в системах алмаз-подвійні карбіди і створення нових гібридних алмазно-твердосплавних пластин підвищеної зносостійкості для використання в буровому інструменті», № держреєстрації 0112U008485.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення роботоздатності алмазних коронок при бурінні геологорозвідувальних свердловин, шляхом забезпечення комбінованого (стирання і сколювання) характеру руйнування твердих гірських порід, за рахунок оснащення алмазозносною матрицею інструмента вставками з надтвердого матеріалу гібридайт.

Для досягнення поставленої мети в роботі були поставлені та вирішувались такі задачі:

1. Розробка нових та удосконалення наявних методик проведення досліджень процесу взаємодії породоруйнівного інструмента з гірською породою при обертovому бурінні.

2. Розробка математичної моделі взаємодії поверхні комбінованої матриці алмазної коронки з гірською породою в процесі буріння геологорозвідувальних свердловин.

3. Дослідження роботоздатності породоруйнівних вставок із надтвердих матеріалів, та їх вплив на характер руйнування твердих гірських порід при обертovому бурінні.

4. Дослідження впливу схеми оснащення робочого торця алмазних коронок з комбінованою матрицею вставками з гібридайт на показники процесу буріння геологорозвідувальних свердловин.

5. Розробка та виробничі випробування нової конструкції алмазної коронки з комбінованою матрицею при бурінні геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах.

*Об'єкт дослідження.* Процес руйнування твердих гірських порід алмазними коронками з комбінованою матрицею, шляхом їх стирання і сколювання при обертovому бурінні геологорозвідувальних свердловин.

*Предмет дослідження.* Вплив конструктивних параметрів алмазної коронки з комбінованою матрицею на ефективність руйнування твердої гірської породи під час обертovого буріння геологорозвідувальних свердловин.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених задач проводились теоретичні й експериментальні дослідження, аналіз фактичного матеріалу, отриманого в результаті експериментальних випробувань, методи дослідження якого базуються на положеннях фізико-математичного моделювання та теорії статистичних вимірювань. Для моделювання розподілу тиску на поверхні робочого профілю бурової коронки використовувався метод скінчених елементів. Дослідження на роботоздатність породоруйнівних елементів проводились за розробленою автором методикою випробувань породоруйнівних елементів бурової коронки при руйнуванні твердої гірської породи. Оцінку параметрів шорсткості поверхні вибою проводили методом профілометрії.

### **Наукова повизна одержаних результатів**

1. Вперше встановлено, що використання гібридних надтвердих матеріалів для оснащення комбінованої матриці алмазної коронки дозволяє отримати характер руйнування гірської породи при обертовому бурінні, притаманний стиранню та сколюванню водночас.

2. Вперше розроблена і апробована математична модель еволюції робочого профілю алмазної бурової коронки з комбінованою матрицею, яка дозволяє визначити умови, за яких досягається рівномірний знос та загальне підвищення роботоздатності породоруйнівного інструмента при бурінні геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах.

3. Вперше встановлено, що використання надтвердого матеріалу гібридайт при бурінні твердих порід призводить до ефекту «самозаточування» породоруйнівних вставок, що забезпечує підвищення ефективності руйнування твердих гірських порід буровими коронками з комбінованою матрицею.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблена методика випробувань породоруйнівних елементів бурової коронки при руйнуванні твердої гірської породи, яка дозволяє на стадії проектування породоруйнівного інструмента якісно визначитись з наповнювачем алмазовмісного шару комбінованої матриці бурової коронки.

Удосконалена методика вивчення шорсткості поверхні вибою, сформованого при алмазному обертовому бурінні, за допомогою аналого-цифрового перетворювача та спеціально розробленої програми розрахунку параметрів мікропрофілю поверхні – «WinSURF». За цією програмою можна вимірювати мікрогеометрію поверхні вибою дослідного зразка твердої гірської породи, розраховувати параметри її шорсткості, а отримані результати графічно (в режимі реального часу) відображати на екрані монітора комп'ютера і виводити на принтер у вигляді протоколу.

Експериментальним шляхом встановлено, що термообробка впливає на породоруйнівні вставки з матеріалу гібридайт позитивно – їх роботоздатність збільшується від 2,5 до 5,5 разів.

З використанням математичної моделі еволюції робочого профілю алмазної бурової коронки з комбінованою матрицею, була розроблена нова конструкція бурової коронки типу БТ-22 діаметром 76 мм, яка, завдяки використанню породоруйнівних вставок з матеріалу гібридайт в алмазовмісній матриці дозволяє підвищити середню проходку в 1,52 рази, а механічну швидкість буріння в 1,4 рази, в порівнянні із сучасними серійними коронками.

**Достовірність результатів роботи.** Сформульовані автором дисертації висновки та положення, що захищаються, підтверджуються фундаментальними теоретичними законами та експериментами, виконаними згідно із сучасними методиками, а також актом виробничих випробувань бурових коронок з алмазовмісною комбінованою матрицею типу БТ-22 діаметром 76 мм, об'ємний шар яких додатково оснащений породоруйнівними вставками з гібридайту.

**Особистий внесок здобувача** полягає в розробці методики та устаткування для випробування породоруйнівних елементів бурової коронки при руйнуванні твердої гірської породи [1] та вдосконаленні лабораторної установки для вивчення шорсткості поверхонь вибою, сформованого при алмазному обертовому бурінні [2].

У співпраці з іншими науковцями вперше розроблено математичну модель розрахунку контактного тиску на поверхні бурової коронки, яка базується на числовому аналізі модельної контактної крайової задачі механіки деформованого твердого тіла [3], і змодельовано еволюцію робочого профілю комбінованої матриці бурової коронки при бурінні геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах [4, 5].

Уперше отримані вирази для визначення оптимальної кількості породоруйнівних вставок, необхідних для забезпечення підвищеної роботоздатності алмазної коронки з комбінованою матрицею при обертовому бурінні в конкретних умовах експлуатації [6].

Отримано експериментальні результати про доцільність використання нового алмазного полікристалічного матеріалу гібридайт як додаткового індентора в оснащенні матриці бурової коронки [7–10], а також вплив схеми оснащення робочого торця алмазних коронок з комбінованою матрицею вставками з гібридайту на ефективність буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах [11].

Розроблена нова конструкція алмазовмісної бурової коронки типу БТ-22 з розрахованою оптимальною схемою породоруйнівних вставок з гібридайту [12], яка показала високі експлуатаційні характеристики в процесі буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах X–XI категорії за буримістю.

**Апробація результатів роботи.** Основні результати і положення дисертаційної роботи доповідались на школі-семінарі молодих вчених та спеціалістів «Надтверді композиційні матеріали і покриття: отримання, властивості, використання» (с. Морське, 2010 р.); на V–VII конференціях молодих вчених та спеціалістів «Надтверді композиційні матеріали і покриття: отримання, властивості, використання» (с. Морське, 2011 р., 2013 р.; м. Київ 2012 р.); на XVI–XVIII міжнародних конференціях «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология изготовления» (с. Морське, 2013 р.; м. Трускавець 2014 р., 2015 р.).

У повному обсязі робота доповідалась на наукових семінарах кафедри буріння нафтових і газових свердловин ІФНТУНГ (м. Івано-Франківськ, 2015 р., 2016 р.) та на секції Вченої Ради «Надтверді матеріали та композити в породоруйнівному інструменті і парах тертя» ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України (м. Київ, 2016 р.)

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 12 наукових праць, серед яких 11 статей у фахових виданнях (у т. ч. 2 статті в журналах з індексом Scopus) і 1 патент України на винахід.

**Структура дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, бібліографічного списку із 117 найменувань і додатків. Загальний обсяг роботи – 141 сторінка, у тому числі: 57 рисунків, 18 таблиць, а також додатки на 13 сторінках. Основна частина роботи містить 112 сторінок машинописного тексту.

Автор висловлює глибоку подяку своєму науковому керівнику старшому науковому співробітнику Закорі А.П., а також колективам відділу комп'ютерного моделювання та механіки композиційних матеріалів ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України та кафедри буріння нафтових та газових свердловин ІФНТУНГ за підтримку, цінні консультації, критичні зауваження і допомогу в підготовці даної роботи.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми і сформульовані основні положення, що виносяться на захист, обґрунтована наукова новизна та практична цінність роботи.

У першому розділі аналізується сучасний стан алмазного буріння при розвідці корисних копалин у твердих гірських породах та основні напрямки підвищення роботоздатності породоруйнівного інструмента.

Алмазне буріння – найбільш ефективний спосіб проходки розвідувальних свердловин у твердих породах завдяки його особливим фізико-механічним властивостям. Для армування алмазних коронок застосовують переважно синтетичні та природні алмази невеликих розмірів і найрізноманітнішої форми полікристалічні матеріали – у вигляді конуса, півсфери, сфери та інші. Відповідно до цього механізм руйнування порід алмазними коронками є досить складним, залежним від великого числа факторів. Залежно від механічних властивостей гірських порід і геометричної форми алмазу процесу руйнування протікають по-різному.

Дослідженням механізму руйнування гірських порід при алмазному бурінні присвячені роботи Г.А. Блінова, Б.І. Воздвіженського, В.С. Владиславлева, Д.Н. Башкатова, В.П. Оніщина, Л.К. Горшкова, С.Ф. Епштейна, Л.А. Шрейнера, Н.В. Соловйова, І.А. Свешнікова, Р.К. Богданова, А.П. Закори, О.М. Ісонкіна та інших авторів. Причому результати виконаних ними досліджень показують, що взаємодія бурового інструмента з гірськими породами являє собою складний і багатофакторний процес, а це у свою чергу ускладнює побудову моделі буріння гірських порід цим інструментом.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що найбільш ефективним інструментом для буріння твердих гірських порід на даний час є інструмент з комбінованою матрицею, оснащеною як синтетичними монокристалами алмазу, так і полікристалічними матеріалами водночас. Однак даний інструмент на базі існуючих надтвердих матеріалів не забезпечує необхідну роботоздатність при руйнуванні твердих гірських порід у процесі буріння геологорозвідувальних свердловин.

На показники роботоздатності бурового інструмента в першу чергу впливають як конструктивні особливості інструмента в цілому, так і зносостійкість його породоруйнівних елементів. Прогнозувати роботоздатність бурового інструмента при руйнуванні твердих гірських порід у лабораторних умовах можна за величиною шорсткості вибою і зносостійкості його породоруйнівних елементів. Однак методики проведення таких досліджень, представлені в літературі, потребують доопрацювання.

Проведений огляд надтвердих матеріалів, які використовуються при оснащенні бурових коронок з комбінованою матрицею показав, що найбільш перспективним полікристалічним надтвердим матеріалом є гібридайт. Але для досягнення підвищення роботоздатності алмазних коронок з комбінованою матрицею необхідно провести дослідження з вивчення впливу породоруйнівних вставок як на характер руйнування твердих гірських порід, так і на роботоздатність алмазної коронки в цілому в процесі обертового буріння геологорозвідувальних свердловин.

Відомо, що практично всі дослідники, що займалися вивченням конструкції алмазної бурової коронки і питаннями її зношування, приходили до необхідності

визначення розподілу осьового навантаження, прикладеного до її робочої поверхні. Однак до теперішнього часу аналітичних досліджень з вивчення розподілу осьового навантаження та розробки моделі процесу зношування для бурових коронок з комбінованою матрицею не існує.

**У другому розділі** основна увага звернута на розробку та удосконалення методик проведення експериментальних досліджень процесу взаємодії породоруйнівного інструмента з гірською породою при обертовому бурінні.

Наведені в даній главі методики експериментальних досліджень дозволяють з високою точністю оцінити ефективність породоруйнівних вставок та алмазного інструмента на їх основі при руйнуванні твердих гірських порід і якісно оцінити вплив конструктивних параметрів комбінованої матриці алмазної коронки на її роботоздатність у процесі обертового буріння.

Розроблена методика випробувань породоруйнівних елементів бурової коронки при руйнуванні твердої гірської породи дозволяє на стадії проєктування породоруйнівного інструмента якісно визначитись з наповнювачем алмазовмісного шару комбінованої матриці бурової коронки. Випробування породоруйнівних елементів бурової коронки проводились при різанні твердої гірської породи на спеціальному стенді, створеному на базі токарно-гвинторізного верстата моделі ДП-200.

Представлена вдосконалена методика вивчення мікропрофілю поверхні забою, сформованого під час алмазного буріння є модифікацією раніше розробленої в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (ІНМ) і складена задля вивчення впливу конструктивних параметрів алмазовмісної комбінованої матриці бурової коронки на ефективність руйнування твердих гірських порід у процесі обертового буріння геологорозвідувальних свердловин.

Вдосконалена методика має суттєві переваги. Громіздке і морально застаріле обладнання міні-ЕОМ СОУ-1 замінене новітнім ПЕОМ, блок зв'язку замінений на аналого-цифровий перетворювач. Це дозволило розробити для проведення досліджень нове програмне забезпечення WinSurf, яке, у свою чергу, дало змогу прискорити процес обрахунку мікрорельєфу поверхні забою гірської породи в десятки разів та позбавитися наявних помилок обрахунку параметрів шорсткості у відомій методиці. Параметри шорсткості мікропрофілю поверхні забою, а також статистичні параметри профілю розраховували згідно з новим ДСТУ 2413-94.

**У третьому розділі** проведені аналітичні дослідження впливу конструктивних параметрів алмазної коронки з комбінованою матрицею на ефективність буріння.

Об'єктом комп'ютерного моделювання є бурова коронка (рис. 1 а).

Її геометрія є суттєво тривимірною і, як наслідок, достатньо складною для теоретичного аналізу. Втім, беручи до уваги циклічну симетрію конструкції коронки за кутовою координатою та обертальний характер її роботи, слід очікувати, що залежність як розподілу тисків, так і зношування від кутової координати не буде значною. Це дозволяє як геометричну модель реальної коронки використати її вісесиметричний аналог (рис. 1 б), розміри якого взяті таким чином, щоб забезпечити «еквівалентність» моделі реальному об'єкту.



Вхідними параметрами моделі (величини, які відомі до початку аналізу і в ньому використовуються) є:

– початкова геометрія коронки, а саме внутрішній  $R_1$  та зовнішній  $R_2$  радіуси (на рис. 1 б), а також форма профілю робочого шару коронки в початковий момент часу  $t$ ;

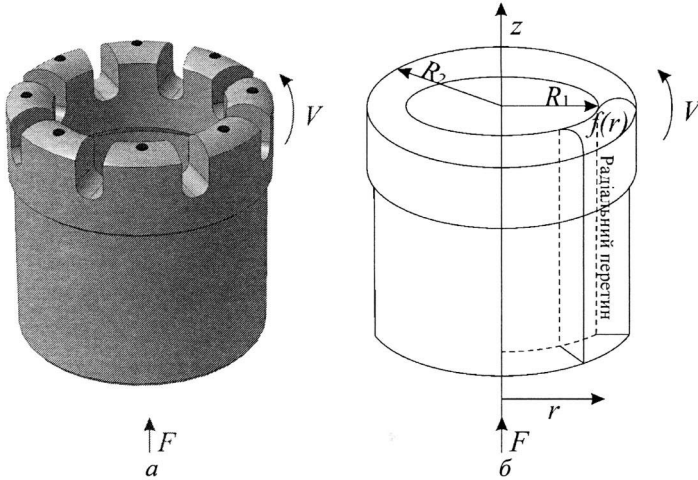


Рисунок 1 – Об’єкт (бурова коронка) та його вісесиметрична геометрична модель

– сумарна осьова сила  $F_z$ , що прикладена до коронки, та коефіцієнт тертя  $K_f$ , який характеризує взаємодію коронки з породою і породжує окружну силу (опір обертанню), яка власне і виконує роботу руйнування;

– кутова швидкість обертання коронки  $\omega$ , за якою обчислюється лінійна швидкість переміщення матеріальних точок робочої поверхні коронки.

Вихідними параметрами моделі є ефективний коефіцієнт зношування  $K = K_{eff}(r)$  робочого шару коронки залежно від способу його армування породоруйнівними вставками з гібридаїту або з алмазного композиційного термостійкого матеріалу, а також профіль робочої поверхні коронки у кожний момент часу.

Математична постановка задачі визначення розподілу контактного тиску на робочій поверхні бурової коронки включає геометричну модель і її скінчено-елементний аналог (рис. 2), при цьому профіль коронки не накладає жодних обмежень на вирішення завдання. Скінчено-елементна модель бурової коронки включає:

а) вісесиметричну геометричну модель, наведену на рис. 1 б;

б) рівняння лінійно-пружної рівноваги як для коронки, так і для масиву породи, з відповідними пружними модулями:

$$\nabla \cdot \mathbf{y} = 0, \quad \mathbf{y} = \mathbf{C} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}, \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T), \quad (1)$$

де  $\boldsymbol{\sigma}$  – тензор напруження;  $\boldsymbol{\varepsilon}$  – тензор деформації;  $\mathbf{u}$  – тензор переміщення;

в) умови навантаження і закріплення, що відповідають реальному процесу та визначаються вхідними параметрами моделі

$$\mathbf{u} \rightarrow 0, \quad \int_{S_{\text{bit}}} \sigma_{zz} ds = F_z. \quad (2)$$

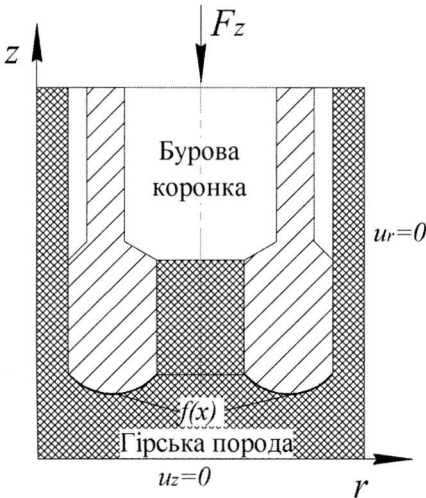


Рисунок 2 – Геометрична та скінчено-елементна модель

г) контактні умови на межі інструмент-порода. У загальному випадку ці умови залежать від ряду факторів (мікрogeометрії та оснащення робочої поверхні коронки, твердості та абразивності породи, наявності та інтенсивності промивки тощо) і можуть корегуватися з їх урахуванням. У цій роботі, контактні умови прийнято, відповідно до загальної практики, у вигляді закону Кулона-Мора:

$$\begin{aligned} [\mathbf{u}_n]_{S_{\text{cont}}} &= [(\mathbf{u} \cdot \mathbf{n})]_{S_{\text{cont}}} = 0; \\ \mathbf{u}_T &= \mathbf{u} - (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n})\mathbf{n} = 0, \quad \sigma_T < K_f \sigma_n. \quad (3) \\ \|\mathbf{u}_T\| &> 0, \quad \sigma_T = K_f \sigma_n; \end{aligned}$$

Істотне ускладнення числової реалізації скінчено-елементного алгоритму зумовлено наявністю контактних граничних умов, які вносять істотну нелінійність і визначають необхідність застосування ітераційних процедур. Тому для побудови алгоритму виконання контактних умов використовується варіаційний принцип. Для цього в кожній точці поверхні породи, що може ввійти в контакт із поверхнею інструмента, визначимо міру перекриття  $h$  й міру відносного зсуву  $S$ .

З урахуванням  $\mathbf{t} \cdot \delta \mathbf{t} = 0$  одержано такі вирази для  $\delta h$  і  $\delta S$ :

$$\begin{aligned} \delta h &= -\mathbf{n} \cdot [\delta \mathbf{u}_{N+1} - \delta \mathbf{u}_{rs} + ((r_y + \xi t_y) \mathbf{e}_x - (r_x + \xi t_x) \mathbf{e}_y) \delta \phi_{rs}] \\ \delta S &\stackrel{\text{def}}{=} \delta \xi = \mathbf{t} \cdot [\delta \mathbf{u}_{N+1} - \delta \mathbf{u}_{rs} - (r_x \mathbf{e}_y - r_y \mathbf{e}_x) \delta \phi_{rs}] \quad (4) \end{aligned}$$

У роботі наведено деякі типові результати розрахунку радіального розподілу контактного тиску на робочій поверхні бурових коронок діаметром 76 мм з різним радіальним профілем у процесі обертового буріння геологорозвідувальних свердловин.

Так, на рис. 3 а наведено геометрію і скінчено-елементну сітку розрахункової моделі бурової коронки з кусково-лінійним профілем бурової коронки. На рис. 3, б показано розподіл нормального тиску. Такий розподіл є очікуваним з точки зору контактної механіки: «кутові» точки перелому профілю є значними концентраторами напружень, а отже і зонами інтенсивного зношування.

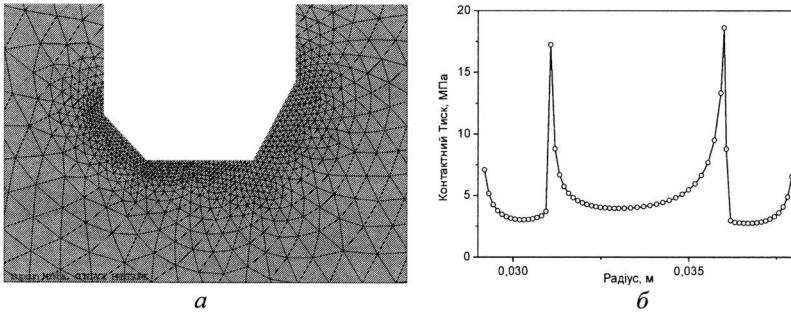


Рисунок 3 – Кусково-лінійний профіль бурової коронки (а) і розподіл нормального тиску (б)

На рис. 4 подано розподіл тиску для профілю бурової коронки з усіченою півсферою. Даний профіль забезпечує значно рівномірний розподіл нормального тиску, за винятком зовнішньої і, особливо, внутрішньої поверхні коронки, де також профіль має кутову точку.

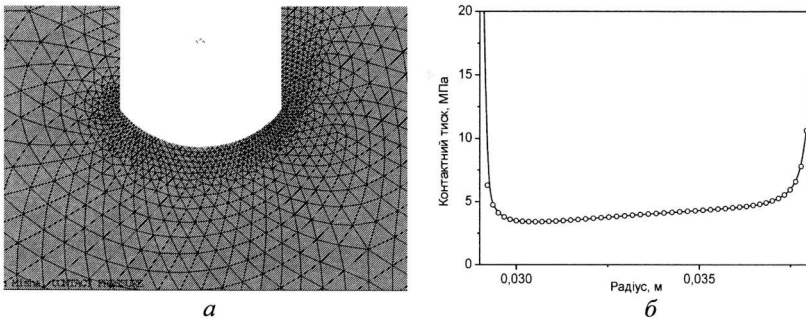


Рисунок 4 – Профіль бурової коронки з усіченою півсферою (а) і розподіл нормального тиску (б)

Попри специфіку кожної з розглянутої геометрії профілю коронки, загальний висновок щодо даного дослідження є цілком очевидним і обґрунтованим, а саме: запропонована модель прогнозує максимальну концентрацію нормального напруження (тиску) саме в тій зоні профілю робочого торця коронки, де, на підставі наявного досвіду, слід очікувати найбільш інтенсивного зношування робочого шару під час буріння геологорозвідувальних свердловин.

Для побудови моделі зношування і формозміни профілю бурової коронки був проведений аналіз великої кількості рівнянь зношування, отриманих як теоретично, так і на підставі обробки результатів трибологічних випробувань на зношування, який показує, що у багатьох випадках залежність швидкості зношування від тиску і швидкості ковзання може бути представлена у вигляді

$$\frac{\partial w_s}{\partial t} = K P^\alpha V^\beta, \quad (5)$$

де параметри  $K$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  є функціями не лише матеріалу, що зношується, а усього процесу контактної взаємодії.

Числовий алгоритм прогнозування еволюції зношування профілю бурової коронки є таким:

I. Ефективний коефіцієнт зношування  $K = K_{eff}(r)$  розраховується один раз і надалі вважається заданим, як і початковий профіль  $f(r, 0)$ .

$$\frac{K_{eff}}{K_1} = \frac{\sigma_{n1} l_{eff}}{\sigma_{n1} \left[ \frac{K_1}{K_2} l_2 + (l_1 - l_2) \right]} = \frac{K_2 l_{eff}}{[K_1 l_2 + K_2 (l_1 - l_2)]}. \quad (6)$$

II. На кожному кроці  $t_m = m\Delta t$  за часом викладеним вище методом скінчених елементів розв'язується контактна крайова задача і визначається  $\sigma_{neff}(r_n, t_m)$  як масив значень ( $1 \leq n \leq N - 1$ ).

III. Профіль бурової коронки в наступний момент часу  $t_{m+1} = (m+1)\Delta t$  визначається:

$$\frac{\partial f(r_n, t_m)}{\partial t} = K_{eff}(r_n) \sigma_{neff}(r_n, t_m) \omega r_n \sqrt{1 + \left[ \frac{\partial f(r_n, t_m)}{\partial r} \right]^2}. \quad (7)$$

Для перевірки роботоздатності запропонованого алгоритму, розглянута задача про вдавлювання з обертанням кільцевого, прямокутного в плані штампа. Одержаний вираз для асимптотичної (при  $t \rightarrow \infty$ ) форми профілю основи штампа має вигляд:

$$\frac{f_\infty(r) - f_\infty(R_1)}{\tilde{C}} = \int_{R_1}^{R_2} \int_0^{2\pi} \frac{[K_{eff}(r)]^{-1} dr' d\varphi}{\sqrt{r'^2 + r'^2 - 2rr' \cos \varphi}}. \quad (8)$$

У роботі наведено два приклади розрахунку ефективного коефіцієнту зношування залежно від способу розташування і зносостійкості породоруйнівних вставок, а також зношення робочого профілю коронки.

Для конкретності і забезпечення порівняльності результатів, наводиться алмазна бурова коронка діаметром 76 мм, зовнішній радіус якої складає  $R_2 = 38$  мм, а внутрішній радіус, відповідно  $R_1 = 29$  мм, довжина промивочного каналу коронки дорівнює 40% довжини сектора, яка оснащена породоруйнівними вставками: радіус вставки  $R_v = 1,5$  мм, їх кількість – 6 штук, осьове навантаження на коронку  $F_z = 10$  кН.

У першому варіанті 3 вставки розміщені біля внутрішньої торцевої поверхні матриці коронки з центром на радіусі, а інші три – біля зовнішньої торцевої поверхні.

Як і слід було очікувати, наявність породоруйнівних вставок на периферійній частині робочої поверхні матриці бурової коронки суттєво знижує ефективний коефіцієнт зношування (рис. 5), а отже підвищує зносостійкість цих частин її профілю. В той же час, центральна частина профілю є незахищеною і там очікується підвищена інтенсивність зношування (рис. 6).

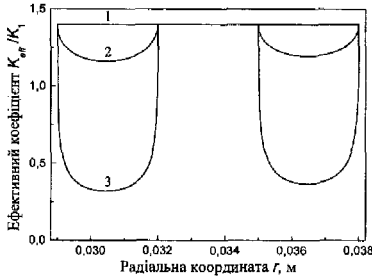


Рисунок 5 – Ефективний коефіцієнт зношування, розстановка № 1:  
1 – КАМ; 2 – АКТМ; 3 – гібридайт.

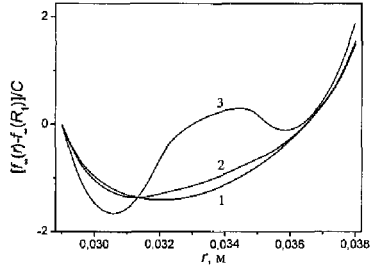


Рисунок 6 – Розрахований профіль коронки, розстановка № 1:  
1 – КАМ; 2 – АКТМ; 3 – гібридайт.

Інший розглянутий варіант розстановки (№ 2) відповідає рівномірному розташуванню породоруйнівних вставок уздовж радіального профілю матриці коронки, на відстані від центру. Розрахований для такого варіанту оснащення ефективний коефіцієнт зношування (рис. 7) є більш близьким до рівномірного. Згідно з наведеними на рисунку 7 даними, при застосуванні АКТМ  $K_{eff}$  (а отже і швидкість зношування) зменшується на 10–15%, а у випадку гібридайту – практично втричі.

Відповідний розстановці № 2 профіль зношування, розрахований згідно (8), показано на рис. 8.

Тут ситуація прогнєжна попередній: більш «захищеною» породоруйнівними вставками є центральна частина робочої зони, тому і ступінь її зношування очікувано менший порівняно з периферійними ділянками матриці бурової коронки.

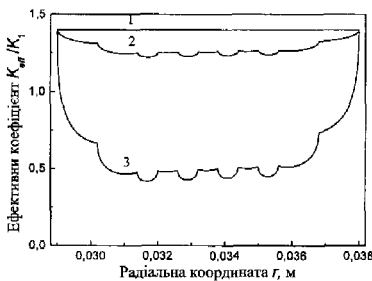


Рисунок 7 – Ефективний коефіцієнт зношування, розстановка № 2:  
1 – КАМ; 2 – АКТМ; 3 – гібридайт.

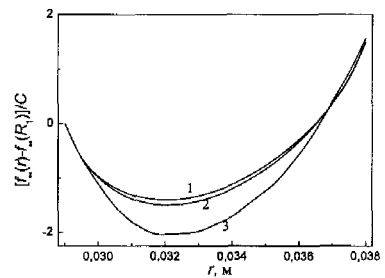


Рисунок 8 – Розрахований профіль матриці коронки (розстановка № 2):  
1 – КАМ; 2 – АКТМ; 3 – гібридайт.

Аналогічні розрахунки може бути виконано для довільного способу розташування породоруйнівних вставок. Втім, остаточний вибір на користь того чи іншого варіанту

розстановки має враховувати, крім зносостійкості, інші важливі для практики чинники, і в першу чергу – ефективність роботи бурової коронки, що має підтверджуватися експериментальним шляхом.

У четвертому розділі наведені експериментальні дослідження роботоздатності породоруйнівних вставок з матеріалу гібридайт, їх вплив як на характер руйнування гірських порід, так і на роботоздатність всієї алмазної коронки в процесі обертального буріння геологорозвідувальних свердловин.

Порівняльні випробування породоруйнівних вставок з гібридайту та чистого АКТМ показали, що зношування за масою вставок АКТМ було значно більшим (у 5–12 разів), ніж у вставок АКТМ, в яких запечені вставки монокристалічного синтетичного алмазу та полікристалічного CVD-алмазу, при цьому інтенсивність зношування АКТМ була відповідно вищою в 2,34–14,4 рази, залежно від варіанту оснащення CVD.

Також було встановлено, що у процесі взаємодії породоруйнівних вставок з гібридайту спостерігався очевидний ефект «самозаточування», тобто з'являлася конусність на їхньому робочому торці при вершині армуючої вставки з CVD-алмаза (рис. 9).

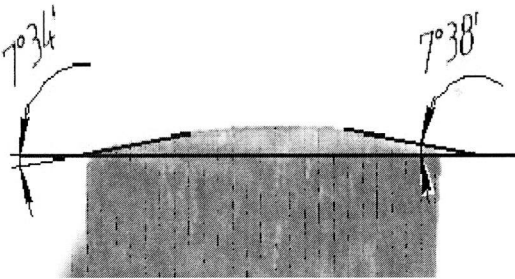


Рисунок 9 – Зовнішній вигляд робочого торця породоруйнівної вставки після заточування

Внаслідок цього при обертальному бурінні такою вставкою очевидним є характер руйнування породи, притаманний сколюванню, а саме з відділенням від масиву більших часток шламу. Даний факт підтверджується експериментальними дослідженнями з вивчення розміру фракцій шламу, які відокремлюються під час різання граніту породоруйнівними вставками.

Встановлено, що термообробка породоруйнівних вставок з гібридайту, при  $t = 1150$  °C в муфельній печі у струмені Ag впливає на них в цілому позитивно – їх зносостійкість збільшилася від 2,5 разів (в разі CVD-алмазу марки CDD) до 5,5 разів (у разі CVD-алмазної ріжучої вставки). Очевидно, що після термообробки спостерігається процес зняття напруженого стану армуючих вставок CVD-алмазу.

Проведені дослідження з оцінювання ефективності руйнування твердих гірських порід буровими коронками з комбінованою матрицею показали, що застосування породоруйнівних вставок з гібридайту в бурових коронках призводить до підвищення шорсткості мікропрофілю поверхні вибою свердловини в 1,7–2,5 раза (таблиця 1). Даний факт підтверджує, що при роботі бурових коронок з комбінованою алмазомістною матрицею, оснащених вставками з гібридайту, очевидний характер руйнування, притаманний сколюванню, а саме з відділенням від масиву більших часток шламу.

Таблиця 1 – Результати вимірювання параметрів шорсткості мікропрофілю поверхні забою і механічної швидкості буріння дослідними коронками

Номер коронки	Варіант оснащення робочого торця матриці	$R_a$ , мкм	$R_z$ , мкм	$R_{max}$ , мкм	$S_m$ , мкм	$V_{мех}$ , м/ГОД
1	Без вставок	1,143	4,438	6,656	350,94	1,9
2	Зі вставками АКТМ	1,977	6,599	11,277	503,64	2,4
3	Зі вставками з гібридаїту	3,834	11,566	21,246	996,54	2,9

Оснащення алмазовмісного шару матриці бурової коронки вставками з гібридаїту на зовнішньому і внутрішньому діаметрах за схемою, отриманою за допомогою розробленої математичної моделі процесу еволюції робочого профілю комбінованої матриці, сприяє усуненню аномального зношування матриці і підвищенню механічної швидкості буріння, що доводить правдивість даної моделі.

Отримані експериментальні дані з визначення оптимальної кількості породоруйнівних вставок гібридаїту на робочому торці матриці бурової коронки підтверджують, що використання оптимальної кількості вставок гібридаїту при оснащенні алмазовмісної матриці бурової коронки збільшує механічну швидкість буріння майже в 1,4 рази і зменшує інтенсивність зношування її матриці в 2 рази, у порівнянні з буровою коронкою без оснащення робочого торця додатковими породоруйнівними вставками.

На підставі результатів виконаних досліджень була розроблена та запатентована конструкція бурової коронки з комбінованою матрицею типу БТ-22 для буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах, об'ємний шар якої оснащений породоруйнівними вставками з гібридаїту, а також синтетичними алмазами АС 160Т зернистістю 355/300. Загальний вигляд дослідної бурової коронки типу БТ-22 представлено на рисунку 10.

Випробування коронок типу БТ22, проводилися в ДП «Центрукргеологія» м. Черкаси під час буріння планових геологорозвідувальних свердловин в породах ІХ–ХІ категорії за буримістю з використанням одинарного колонкового снаряда. За базу порівняння були прийняті серійні бурові коронки типу БС06 діаметром 76 мм. оснащені тільки синтетичними алмазами АС 160Т зернистістю 355/300.

При цьому використовувалися такі режими буріння:

- Частота обертання 340–576 об/хв;
- Осьове навантаження 10–15 кН;
- Витрата промивальної рідини 19–30 л/хв.

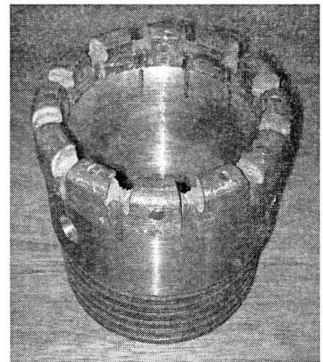


Рисунок 10 – Загальний вигляд бурової коронки типу БТ-22

Наведені в таблиці 2 результати виробничих випробувань при бурінні свердловин у твердих гірських породах IX–XI категорії свідчать, що дослідні коронки типу БТ-22 діаметром 76 мм, оснащених вставками АКТМ різного складу і якості алмазного наповнювача (діаметром 3,5 мм і висотою 4 мм), армованих CVD-алмазом ( $0,23 \div 0,25 \times 1 \times 4$  мм), а також синтетичними алмазами АС 160Т зернистістю 355/300, перевищують за своїми показниками серійні коронки БС-06 діаметром 76 мм, що були оснащені тільки синтетичними алмазами АС 160Т зернистістю 355/300, за середньою проходкою в 1,52 раза, а за механічною швидкістю буріння в 1,4 раза.

Таблиця 2 – Середні показники буріння дослідними і серійними коронками.

Тип інструмента	Кількість, шт.	Середні показники буріння	
		Механічна швидкість буріння, м/год	Проходка на коронку, м
БТ-22	6	2,47	14,57
БС-06	6	1,76	9,60

## ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в результаті виконання якої вирішено важливу науково-прикладну проблему, яка полягає в підвищенні робото-здатності алмазних імпрегнованих коронок при бурінні твердих гірських порід, за рахунок оснащення матриці коронки новими породоруйнівними вставками гібридаїту.

1. На основі аналізу літературних джерел встановлено, що найбільш ефективним інструментом для буріння твердих гірських порід на даний час є бурові коронки з комбінованою матрицею, оснащеною як синтетичними монокристалом алмазу так і полікристалічними матеріалами водночас. Однак даний породоруйнівний інструмент на базі існуючих надтвердих матеріалів не забезпечує необхідну робото-здатність при руйнуванні твердих гірських порід в процесі буріння геологорозвідувальних свердловин.

2. Представлені розроблені та удосконалені методики експериментальних досліджень дозволяють з високою точністю оцінити ефективність руйнування гірської породи надтвердими вставками та буровим інструментом на їх основі, а також якісно оцінити вплив конструктивних параметрів комбінованої матриці бурової коронки на її робото-здатність в процесі обертального буріння.

3. Уперше запропоновано підхід до розрахунку контактної тиску на поверхні комбінованої бурової коронки, який базується на числовому аналізі модельної контактної крайової задачі механіки деформованого твердого тіла і забезпечує, на відміну від відомих в літературі, врахування не лише кінематики процесу буріння, а й специфіки контактної взаємодії інструмента з породою.

4. Уперше запропонована математична модель процесу еволюції робочого торця комбінованої матриці бурової коронки на основі розрахунку розподілу контактної тиску на її робочій поверхні в процесі обертального буріння. Одержані з використанням розроблених моделей числові результати, а також запропоновані наближені формули можуть бути використані для оптимізації конструкції, включаю-



чи вибір профілю, оснащеності і застосування породоруйнівних елементів з різною зносостійкістю для забезпечення рівномірного зношування робочої поверхні бурової коронки, а отже, істотного підвищення її роботоздатності та терміну експлуатації при бурінні геологорозвідувальних свердловин.

5. У результаті порівняльних випробувань на роботоздатність породоруйнівних вставок з гібридаїту при різанні гірської породи X категорії за буримістю встановлено, що інтенсивність зношування залежить від властивостей і структури використовуваного CVD-алмазу. При цьому зносостійкість породоруйнівної вставки з гібридаїту при руйнуванні твердої гірської породи у 14 разів вище, ніж зразків з АКТМ.

6. Встановлено, що використання надтвердого матеріалу гібридайт при бурінні твердих порід призводить до ефекту «самозаточування» породоруйнівних вставок, що забезпечує підвищення ефективності руйнування твердих гірських порід буровими коронками з комбінованою матрицею.

7. Уперше встановлено, що використання гібридних надтвердих матеріалів для оснащення комбінованої матриці алмазної коронки дозволяє отримати характер руйнування гірської породи при обертovому бурінні, притаманний стиранню та сколюванню водночас.

8. Одержані теоретичні і дослідні дані щодо впливу породоруйнівних вставок з гібридаїту на роботоздатність алмазних коронки з комбінованою матрицею використано при розробці і реалізації породоруйнівного інструменту, зокрема, алмазної бурової коронки типу БТ-22, яка успішно пройшла виробничі випробування в компанії ДП «Центрукргеологія» (м. Черкаси) під час буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах. Розроблена конструкція нової бурової коронки типу БТ-22 діаметром 76 мм, яка, за рахунок використання породоруйнівних вставок з матеріалу гібридайт в комбінованій матриці, дозволяє підвищити середню проходку в 1,52 раза, а механічну швидкість буріння в 1,4 раза порівняно із серійними коронками.

### **Список опублікованих праць за темою дисертації:**

1. Шульженко А.А. Гибридный алмазный композиционный поликристаллический материал и его свойства / А.А. Шульженко, Е.Е. Ашкинази, Р.К. Богданов, А.Н. Соколов, В.Г. Гаргин, А.П. Загора, В.Г. Ральченко, В.И. Конов, Г.Д. Ильницкая, М.В. Супрун, А.А. Хомич, М.В. Кандзюба // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 214–223.

2. Супрун М.В. Оценка эффективности разрушения твердых горных пород буровыми коронками, оснащенными синтетическими алмазами и вставками гибридаита / М.В. Супрун, А.П. Загора, Р.К. Богданов, А.А. Шульженко, В.Г. Гаргин, А.Н. Соколов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2013. – Вып. 16. – С. 39–43.

3. Супрун М.В. Оцінка розподілу контактного тиску по робочій поверхні бурової коронки / М.В. Супрун, В.І. Куш, А.П. Загора, Р.К. Богданов // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ, 2015. – № 3 (56). – С. 66–71.

4. Супрун М.В. Моделювання зношування та формозміни робочої поверхні бурової коронки / М.В. Супрун, В.І. Куш, А.П. Загора, Р.К. Богданов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2015. – Вып. 18. – С. 122–127.

5. Супрун М.В. Оцінка зносостійкості бурової коронки з армуючими вставками гібридайт / М.В. Супрун, В.І. Куш, А.П. Загора, Р.К. Богданов // Сверхтвердые материалы. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2015. – № 6. – С. 89–97.

6. Супрун М.В. Оцінка оптимальної кількості вставок гібридайт на робочому торці бурової коронки / М.В. Супрун // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2015. – Вып. 18. – С. 127–130.

7. Шульженко А.А. Исследование работоспособности нового гибридного алмазного композиционного поликристаллического материала при разрушении крепких горных пород / А.А. Шульженко, Р.К. Богданов, А.П. Загора, Е.Е. Ашкинази, А.Н. Соколов, В.Г. Гаргин, В.Г. Ральченко, В.И. Конов, Г.Д. Ильницкая, М.В. Супрун // Наук. пр. ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – Вип. 13(178). – С. 117–122.

8. Загора А.П. Исследование работоспособности гибридного алмазного композиционного поликристаллического материала для бурового инструмента / А.П. Загора, Р.К. Богданов, А.А. Шульженко, В.Г. Гаргин, А.Н. Соколов, М.В. Супрун, Е.А. Загора, Е.Е. Ашкинази, В.Г. Ральченко, В.И. Конов // Наук. пр. ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – Вип. 14(181). – С. 150–157.

9. Супрун М.В. Оценка характера разрушения горных пород различными породоразрушающими элементами / М.В. Супрун, А.П. Загора, Р.К. Богданов, Г.Д. Ильницкая, И.Н. Зайцева // Наук. пр. ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2013. – Вип. 2(19). – С. 253–256.

10. Ашкинази Е.Е. Алмазный поликристаллический композиционный материал с дисперсно-упрочненной добавкой на основе никеля / Е.Е. Ашкинази, А.А. Шульженко, В.Г. Гаргин, А.Н. Соколов, Л.И. Александрова, В.Н. Ткач, В.Г. Ральченко, В.И. Конов, А.П. Большаков, С.Г. Рыжков, Р.К. Богданов, А.П. Загора, М.В. Супрун // Сверхтвердые материалы. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2013. – № 5. – С. 95–98.

11. Супрун М.В. Влияние схемы расстановки вставок гибридайт в импрегнированных коронках на эффективность бурения твердых горных пород / А.П. Загора, Р.К. Богданов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2014. – Вып. 17. – С. 26–31.

12. Патент Р.К. Богданов, А.П. Загора, О.О. Шульженко, В.Г. Гаргин, О.М. Соколов, Е.С. Ашкинази, на винахід № 96692. МПК Е21В 10/48, Е21В 10/48 Бурова коронка / В.Г. Ральченко, В.І. Конов, М.В. Супрун, опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22, 2011 р. – 0,8 п.л.

Перелічені публікації з достатньою повнотою відображають результати дисертаційної роботи. З праць, що опубліковані у співавторстві, в дисертації використано тільки ті результати, які отримано здобувачем самостійно.

## АНОТАЦІЯ

**Супрун М.В.** Підвищення роботоздатності алмазних бурових коронок у твердих породах. – 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, Івано-Франківськ, 2016.

Дисертація присвячена питанням підвищення роботоздатності алмазних бурових коронок з комбінованою матрицею при бурінні геологорозвідувальних свердловин у твердих породах за допомогою нового надтвердого матеріалу – гібридайт.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що найбільш ефективним інструментом для буріння твердих гірських порід на даний час є інструмент з комбінованою матрицею, оснащеною як синтетичними монокристалічними алмазами так і полікристалічними матеріалами водночас. Охарактеризовано існуючі надтверді матеріали, які використовуються при оснащенні бурових коронок з комбінованою матрицею.

Уперше створена математична модель процесу еволюції робочого профілю та з використанням розрахунку контактної тиску на поверхні алмазної коронки з комбінованою матрицею в процесі буріння геологорозвідувальних свердловин.

Проведено в лабораторних умовах, за допомогою розроблених та удосконалених методик, порівняльні дослідження з взаємодії породоруйнівних вставок з гірською породою, та їх вплив на характер руйнування твердих гірських порід, а також досліджено вплив схеми оснащення робочого торця бурової коронки породоруйнівними вставками з гібридайту на роботоздатність алмазної бурової коронки з комбінованою матрицею. Вперше встановлено, що при руйнуванні твердих гірських порід вставками з гібридайту очевидний характер руйнування породи, притаманний сколюванню.

Розроблені та передані до впровадження підприємству ДП «Центрукргеологія» для буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих породах, комбіновані бурові коронки типу БТ-22, які оснащені синтетичними алмазами та породоруйнівними вставками з гібридайту й мають високу механічну швидкість буріння і підвищену проходку в порівнянні із серійними коронками.

**Ключові слова:** бурова коронка, гірська порода, гібридайт, CVD-алмаз, модель зношування, контактний тиск, інтенсивність зношування, механічна швидкість буріння, характер руйнування гірських порід.

## АННОТАЦИЯ

**Супрун М.В.** Повышение работоспособности алмазных буровых коронок в твердых породах. – 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, Ивано-Франковск, 2016.

Диссертация посвящена вопросам повышения работоспособности алмазных буровых коронок с комбинированной матрицей при бурении геологоразведочных скважин в твердых породах с помощью нового сверхтвердого материала – гибридайт.

Проведенный анализ литературных источников показал, что наиболее эффективным инструментом для бурения твердых горных пород в настоящее время является инструмент с комбинированной матрицей, оснащенной как синтетическими монокристаллами алмаза, так и поликристаллическими материалами одновременно. Обзор существующих сверхтвердых материалов, которые используются при оснащении буровых коронок с комбинированной матрицей, показал, что наиболее перспективным поликристаллическим сверхтвердым материалом является гибридайт.

Разработана методика испытаний породоразрушающих вставок на износостойкость при разрушении различных горных пород, и усовершенствована методика изучения шероховатости поверхности забоя, сформированного при алмазном бурении, с помощью аналого-цифрового преобразователя и специально разработанной программы расчета параметров микропрофиля поверхности.

Предложен новый подход к оценке распределения контактного давления по рабочей поверхности буровой коронки, основанный на численном анализе модельной контактной краевой задачи механики деформируемого твердого тела и учитывающий не только кинематику процесса бурения, но и специфику контактного взаимодействия инструмента с породой. С помощью численного моделирования рассчитаны значения интенсивности износа рабочей поверхности буровой коронки, достаточно близкие к наблюдаемым на практике результатам, что является убедительным аргументом в пользу адекватности предложенной математической модели и надежности представленных числовых данных.

Проведена оценка износостойкости буровой коронки с армирующими породоразрушающими вставками, исследовано влияние их расположения на рабочий поверхности коронки. Получено уравнение для определения эффективного коэффициента износа рабочей поверхности коронки в зависимости от способа его армирования породоразрушающими вставками. Впервые предложена математическая модель эволюции рабочего профиля буровой коронки, которую можно использовать для оптимизации конструкции комбинированной матрицы, включая выбор профиля, оснащенность и применение породоразрушающих вставок с разной износостойкостью.

Проведены в лабораторных условиях сравнительные исследования по взаимодействию породоразрушающих вставок с горными породами, и их влияние на

характер разрушения твердых горных пород, а также исследовано влияние схемы оснащения рабочего торца буровой коронки породоразрушающими вставками из гибридаита на износостойкость и механическую скорость бурения. Впервые установлено, что использование породоразрушающих вставок из гибридаита в комбинированной матрице буровой коронки приводит к повышению износостойкости инструмента и увеличению механической скорости в процессе бурения твердых горных пород. Также было установлено, что в процессе работы вставок из гибридаита наблюдается эффект «самозатачивания», вследствие чего при бурении геологоразведочных скважин такой вставкой очевиден характер разрушения породы, присущий скалыванию, а именно с отделением от массива более крупных частиц шлама.

Приведены результаты исследования влияния схемы оснащения рабочего торца вставками гибридаита на эффективность бурения твердых горных пород импрегнированными коронками. Установлено, что оснащение калибрующей части импрегнированной коронки вставками гибридаита способствует устранению ее аномального износа, а также приводит к повышению эффективности и механической скорости бурения крепких горных пород.

Разработаны и переданы к внедрению на предприятии ГП «Центрукргеология» для бурения геологоразведочных скважин в твердых породах комбинированные буровые коронки типа БТ-22, которые оснащены синтетическими алмазами и породоразрушающими вставками из гибридаита и имеют повышенную работоспособность в сравнении с серийными коронками типа БС-06.

**Ключевые слова:** буровая коронка, горная порода, гибридайт, CVD-алмаз, модель износа, контактное давление, интенсивность износа, механическая скорость бурения, характер разрушения горных пород.

## ABSTRACT

**Suprun M.V.** Increasing efficiency of diamond drilling bits in hard rocks. – The Manuscript.

Ph.D thesis in Technical (Engineering) Sciences according to specialty 05.15.10 – Well drilling. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2016.

This is devoted to improve efficiency of diamond drilling bits with a combined matrix while drilling exploration wells in hard rock with the help of the new superhard material – gibridayt.

The analysis of the literature has shown that the most effective tool for drilling hard rock is now a tool with a combined matrix, equipped with both a synthetic diamond single crystal and polycrystalline materials at the same time. We characterize the existing superhard materials, which are used for equipping the drill bits with a combined matrix

For the first time a mathematical model of the process of evolution of the working surface of the combined drilling bit with using the calculation of contact pressure on the surface of the combined drilling bit has been created, which is based on the numerical analysis of the model of contact boundary value problem of solid and provides account for

not only the kinematics of the drilling process, but also particularities of the contact interaction tool with rock.

The comparative studies, having been conducted in lab environment, on the interaction of rock-breaking inserts with subsurface rocks, and their influence on the character of destruction of solid rocks, and also the influence of the circuit equipping the working end of the drilling bit of rock-breaking inserts gibridayt on resistance to abrasion and ROP has been explored. It has also been found out that the inserts from gibridayt an effect of «self-sharpening» is being observed during the operation, as a result of drilling exploration wells by using such insert the character of rock destruction is obvious, in particular the separation of larger solid particles of the slurry.

Combined drilling bits such as BT-22 which are equipped with synthetic diamonds and rock-breaking inserts from gibridayt and have increasing efficiency comparing with serial bits has been developed and transferred for implementation at the enterprise «Centrukrgeologiya».

**Keywords:** drilling bit, (subsurface) rock, gibridayt, CVD-diamond, pattern of wear, contact pressure, the wear rate, mechanical drilling speed, character of destruction of (subsurface) rocks.