

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ДРАЧУК Олександр Григорович

УДК 622.235.5:622.245.142

**ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МАЛОГАБАРИТНИХ
КУМУЛЯТИВНИХ ЗАРЯДІВ
ДЛЯ СВЕРДЛОВИНИХ ПЕРФОРАТОРІВ**

05.05.12 – машини нафтової та газової промисловості

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському державному геологорозвідувальному інституті Міністерства охорони навколишнього природного середовища України (м. Київ).

Науковий керівник: доктор технічних наук,
Войтенко Юрій Іванович,
Український державний геологорозвідувальний

інститут (м. Київ),
завідувач відділу геофізичної техніки та інноваційних технологій.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Івасів Василь Михайлович,
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри машин нафтогазового обладнання;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Поплавський Володимир Антонович,
Національний науково-дослідний інститут безпеки
та охорони праці Державного комітету України
з промислової безпеки та гірничого
нагляду (Держгірпромнагляду) (м. Київ),
завідувач сектору науково-дослідної лабораторії
науково-організаційної підтримки
науково-дослідного відділу регулювання
промисловою безпекою та охороною праці.

Захист відбудеться “23” червня 2010 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д
08.080.06 при Національному гірничому університеті Міністерства освіти і науки України (49005,
м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19,
тел. 47-24-11).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного гірничого університету
Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ,
просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий “ 21 ” травня 2010 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук

О. В. Анциферов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В Україні до середини 90-х років ХХ ст. кумулятивні заряди (КЗ) для свердловинних перфораторів, як і інші технічні засоби для свердловинних прострілювально-вибухових робіт (ПВР), не розроблялися й не випускалися у зв'язку з тим, що основні дослідницькі та конструкторські центри були зосереджені передусім у Російській Федерації. Україна вимушена була розпочати власну розробку і виробництво КЗ для потреб нафтогазодобувної промисловості.

Завдяки зусиллям нечисленних вітчизняних підприємств, що спеціалізуються на роботах з вибуховими матеріалами, вдалося створити лише один серійний малогабаритний КЗ ЗГ2-42-150/100, який використовується у складі малогабаритного свердловинного кумулятивного перфоратора ПБ2-42Н і характеризується низькою ефективністю, порівняно з подібними зразками закордонних виробників. КЗ для свердловинних перфораторів самостійного застосування не мають і використовуються у складі перфораторів, що є засобами їхньої доставки до інтервалу перфорації.

Малогабаритні технічні засоби кумулятивної перфорації дають змогу застосовувати різні технології свердловинних ПВР через насосно-компресорні труби (НКТ), звужені ділянки обсадних колон, а також у свердловинах, обсаджених трубами невеликого діаметра. Застосовуються для утворення перфораційних отворів (каналів) у обсадних колонах і породах-колекторах, а також бурильних трубах, обважених бурильних трубах (ОБТ) з метою відновлення циркуляції промивальної рідини й ліквідації їхнього прихвату. В разі застосування малогабаритних КЗ, порівняно з великогабаритними, зменшується вибуховий вплив на стінки свердловини, цементне кільце та конструктивні елементи перфораторів, що є особливо актуальним для застарілого фонду вітчизняних експлуатаційних свердловин.

Наразі потреба вітчизняних нафтогазодобувних підприємств у малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів та власне перфораторах задовольняється в основному використанням дорогих імпортованих виробів.

Нагальним є створення ефективних нових і вдосконалення існуючих конструкцій малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів, що дасть змогу зменшити залежність вітчизняних споживачів від імпортованих виробів, сприятиме виконанню конверсійної програми в частині утилізації вибухових речовин (ВР), сприятиме поліпшенню соціальної складової на вітчизняних підприємствах-виготовлювачах та буде одним з чинників збільшення видобутку вуглеводнів – однієї з важливих складових національної безпеки України.

Тому обґрунтування раціональних параметрів конструкцій малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів, при яких забезпечується ефективне кумулятивне пробиття з утворенням перфораційних отворів необхідної геометричної конфігурації, є **актуальним науковим завданням**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася згідно з НДДКР УкрДГРІ № 0104U002856 “Розробка та вдосконалення методичних та технічних засобів для використання енергії вибуху у нафтогазових свердловинах”, НДДКР УкрДГРІ № 0107U008438 “Розробка методичних та технологічних засобів для використання енергії вибуху і горіння у нафтогазових свердловинах”.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є забезпечення ефективного кумулятивного пробиття малогабаритними КЗ для свердловинних перфораторів з утворенням перфораційних отворів необхідної геометричної конфігурації завдяки визначенню закономірностей впливу фізичних властивостей порошкового матеріалу та фізико-механічних властивостей спресованого з нього матеріалу КО на процес кумулятивного пробиття без зміни інших параметрів конструкції КЗ.

Для досягнення зазначеної мети сформульовано такі **завдання дослідження**:

- провести аналіз особливостей конструкцій та параметрів малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів, визначити шляхи забезпечення ефективного кумулятивного пробиття;

- визначити методи досліджень конструкцій малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів та ефективності їхньої кумулятивної дії;

- визначити розміри й форму зерен порошкового матеріалу, з якого виготовляється КО, при котрих забезпечується найбільша глибина пробиття перфораційного отвору;

- визначити закономірності кумулятивного пробиття КЗ з порошковими КО з різних матеріалів, що мають різну акустичну жорсткість, за інших однакових умов;

- провести розрахунок швидкості головної частини кумулятивного струменя (КС) різними методами й визначити можливість їхнього використання для розрахунку КЗ із порошковими КО;

- визначити раціональні параметри конструкцій малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів та розробити рекомендації щодо їхнього використання при розробці та виготовленні КЗ;

- розробити конструкції ефективних малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів різного функціонального призначення, провести їхні стендові і свердловинні випробування, виконати впровадження на нафтогазових родовищах України.

Об’єкт дослідження – процес кумулятивного пробиття обсадних колон і порід-колекторів, бурильних труб, ОБТ малогабаритними КЗ для свердловинних перфораторів з порошковими КО.

Предмет дослідження – параметри конструкцій малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів з порошковими КО різного функціонального призначення.

Ідея дисертаційної роботи полягає у використанні для обґрунтування раціональних параметрів конструкції КЗ закономірностей впливу фізичних властивостей порошкових матеріалів і фізико-механічних властивостей матеріалу спресованих із них КО.

Методи дослідження – експериментальні методи дослідження фізичних властивостей порошкових матеріалів і фізико-механічних властивостей матеріалу спресованих з них КО, інженерні методи розрахункового визначення параметрів функціонування КЗ, експериментальні методи дослідження кумулятивного пробиття малогабаритними КЗ для свердловинних перфораторів обсадних колон і порід-колекторів, бурильних труб, ОБТ у стендових умовах (з використанням мішеней)

та у свердловинних умовах при застосуванні різних технологій свердловинних ПВР.

Наукові положення, що виносяться на захист.

1. Найбільша глибина пробиття перфораційного отвору малогабаритним КЗ для свердловинних перфораторів забезпечується при розмірах зерен порошкового матеріалу, з якого за технологією одностороннього “холодного” пресування виготовляється КО, в діапазоні 140...160 мкм незалежно від складу матеріалу (мідний, новий композитний) та при сферичній або сфероїдній формі зерен.

2. На геометричні параметри утворюваного перфораційного отвору впливає акустична жорсткість матеріалу КО. В разі збільшення в 1,25 раза питомої акустичної жорсткості матеріалу КО, спресованого з порошкового алюмінію, міді та їхніх сумішей за інших однакових умов, глибина пробиття перфораційного отвору в алюмінієвій мішені малогабаритним КЗ для свердловинних перфораторів збільшується за лінійною залежністю в 3,5 раза за одночасного зменшення його вхідного діаметра в 1,8 раза.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Уперше визначено закономірності впливу фізичних властивостей (розмірів і форми зерен) порошкового матеріалу та фізико-механічних властивостей (пористості й акустичної жорсткості) матеріалу спресованого з нього за технологією одностороннього “холодного” пресування КО малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів на процес кумулятивного пробиття.

2. Уперше доведено можливість використання інженерного методу Л. П. Орленка, розробленого для розрахунку параметрів функціонування КЗ з суцільними КО, для розрахунку швидкості головної частини КС, сформованих з порошкових КО. При цьому розбіжність розрахункових значень з експериментальними за пористості матеріалу вершини мідного КО (визначається як співвідношення щільностей суцільного та пористого матеріалу) в діапазоні 1,08...1,19 не перевищує 12 %.

3. Уперше визначено, що за пористості матеріалу вершини мідного КО 1,6...1,8 у процесі його вибухового обтиснення продуктами детонації спресованого гексогену зі швидкістю детонації 8,1 км/с забезпечується найбільша швидкість головної частини високощільного КС.

4. Уперше отримано залежності швидкості головної частини КС від пористості матеріалу вершини мідного КО в діапазоні кутів розкриття КО 30...90° у процесі його вибухового обтиснення продуктами детонації спресованого гексогену зі швидкістю детонації 8,1 км/с.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків роботи підтверджується великим обсягом експериментальних досліджень, збіжністю отриманих розрахункових результатів з експериментальними, а також результатами випробувань і впровадження розроблених малогабаритних КЗ для свердловинних перфтораторів.

Практичне значення та реалізація отриманих результатів. Розроблено методичні рекомендації з проектування та виготовлення конструкцій малогабаритних КЗ для свердловинних перфтораторів.

Розроблено малогабаритні КЗ для свердловинних перфтораторів: ЗКМ-38, ЗКМ-У-54 різного функціонального призначення, зокрема для перфорації обсадних колон у пошукових, розвідувальних та експлуатаційних свердловинах з метою розкриття продуктивних пластів, для перфорації бурильних труб, ОБТ з метою відновлення циркуляції промивальної рідини та ліквідації їхнього прихвату. Вдосконалено серійний малогабаритний КЗ ЗГ2-42-150/100 – створено його модифікацію ЗГ2-42-01-150/100 збільшеної пробивної здатності.

Отримані результати використано також під час розробки великогабаритних КЗ для свердловинних перфтораторів: ЗК1-80С, ЗК2-80С, ЗП2-67, ЗГ2-100-150/50.

Розроблено нові конструкції засобів доставки розроблених малогабаритних КЗ до інтервалу перфорації – малогабаритних свердловинних перфтораторів: ПКМ-38 (споряджається КЗ ЗКМ-38) і ПКМ-54 (споряджається КЗ ЗКМ-У-54), а також удосконалено серійний малогабаритний перфторатор ПБ2-42Н. Використання цих технічних засобів кумулятивної перфорації характеризується меншою аварійністю під час проведення ПВР, порівняно з подібними виробами російських та провідних світових виробників. Розроблено конструкцію розсувного перфторатора із двосторонньою дією на пласт, який транспортується до інтервалу проведення перфорації через НКТ.

Новизна отриманих у дисертаційній роботі результатів підтверджена шістьма патентами України.

Методичні рекомендації з проектування та виготовлення конструкцій малогабаритних КЗ для свердловинних перфтораторів впроваджено в Науково-інженерному центрі “Матеріалообробка вибухом” ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України (НІЦ “МВ” ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ), про що складено відповідний акт.

Розроблено та вдосконалено малогабаритні КЗ для свердловинних перфтораторів і перфторатори, вони впроваджені у виробництво та використовувалися у виробничих процесах видобутку нафти і газу, а також під час буріння свердловин (ліквідація прихватів бурильних труб та ОБТ) ДГП “Укргеофізика” та ЗАТ “Укрпромгеофізика”, про що складено відповідні акти. При цьому отримано промислові дебіти флюїдів, проведено перфорацію бурильних труб та ОБТ, забезпечено скидання води

й виконання ремонтних робіт з ізоляції пласта.

Економічний ефект від застосування розроблених та впроваджених малогабаритних КЗ, а також споряджених ними кумулятивних свердловинних перфтораторів, які нині успішно

використовуються на вітчизняних нафтогазових родовищах, визначається меншою вартістю перфораційного отвору, порівняно з відомими промисловими аналогами.

Особистий внесок автора в опублікованих у співавторстві роботах: визначено геометричні параметри конструктивних елементів малогабаритного КЗ для свердловинних перфораторів, при яких забезпечується його найбільша ефективність [14]; проведено розрахунок швидкості головної частини КС й визначено значення пористості матеріалу вершини мідного КО, при яких швидкість головної частини високощільного КС є найбільшою, отримано залежності швидкості головної частини КС від пористості матеріалу вершини мідного пресованого КО, експериментально визначено пористість матеріалу спресованих порошкових КО [15]; проведено аналіз основних причин ускладнень у свердловинах під час використання малогабаритних кумулятивних свердловинних перфораторів [17]; проведено порівняльний аналіз ефективності свердловинних перфораторів, споряджених малогабаритними КЗ [1]; досліджено вплив технології виготовлення КЗ на його ефективність [2]; експериментально визначено швидкість головної частини КС та проведено її порівняння з розрахунковими значеннями [3]; визначено розміри й форму зерен порошкового матеріалу, з якого виготовляється КО, при котрих забезпечується найбільша глибина пробиття перфораційного отвору [4, 8]; запропоновано й досліджено нові склади композитного матеріалу порошкових КО [9]; досліджено вплив матеріалу корпусу КЗ на його ефективність [16]; вдосконалено конструкції КЗ і перфораторів за результатами свердловинних випробувань [5]; проведено стендові дослідження пробивної здатності розроблених КЗ для свердловинних перфораторів [7]; запропоновано з рівним авторським внеском конструкції малогабаритних кумулятивних свердловинних перфораторів [10–13].

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 8-й Міжнародній конференції “Нафта і газ України – 2004” (м. Судак, 2004 р.), VI Міжнародній конференції “Теоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти” (м. Київ, 2007 р.), VII Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні технології ведення буровибухових робіт, їх економічна ефективність та техногенна безпека” (м. Феодосія, 2008 р.), на наукових семінарах лабораторії геофізичної техніки УкрДГРІ (2004–2008 рр.), об’єднаному науковому семінарі НІЦ “МВ” ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ та лабораторії геофізичної техніки УкрДГРІ (2007 р.), експедиціях з геофізичних досліджень у свердловинах (ЕГДС) ДГП “Укргеофізика” (2004–2008 рр.), Міжнародній науково-практичній конференції “Форум гірників – 2009” (НГУ, м. Дніпропетровськ).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 17 робіт, у тому числі три препринти, сім статей (одна – без співавторів), одна – тези доповіді, шість патентів України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації 188 сторінок, в тому числі 26 рисунків, 21 таблиця, дев’ять додатків на 17 сторінках, список використаних джерел зі 106 найменувань на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та основні напрями наукового дослідження, наведено загальну характеристику роботи.

У **першому розділі** наведено результати аналізу сучасного стану досліджень конструкцій КЗ для свердловинних перфораторів, технологій їхнього виготовлення та ефективного використання.

Відзначено, що значні наукові результати при дослідженні цих питань отримано такими вченими, як Ф. А. Баум, Є. М. Віцені, І. Н. Гайворонський, С. В. Гошовський, Н. Г. Григорян, С. А.

Кінеловський, М. О. Лаврентьев, Л. П. Орленко, К. П. Станюкович, Тейлор, Ю. О. Трішин, С. В. Федоров, Л. Я. Фридляндер та іншими.

Забезпечення ефективного кумулятивного пробиття малогабаритними КЗ для свердловинних перфораторів обсадних колон і порід-колекторів, бурильних труб та ОБТ з метою створення перфораційних отворів необхідної геометричної конфігурації (великої глибини, великого вхідного діаметра або з їхніми проміжними значеннями) потрібно пов'язувати з пошуком раціональних параметрів конструктивних елементів КЗ, насамперед КО, виготовлених з порошкових матеріалів, що характеризуються фізичними й фізико-механічними властивостями.

Можливість використання методів розрахункового визначення параметрів функціонування КЗ (визначають ефективність кумулятивного пробиття), які створювалися для КЗ з суцільними КО, зокрема інженерного методу Л. П. Орленка (далі – методу Орленка), для розрахунку параметрів функціонування КЗ з порошковими КО, зокрема, швидкості головної частини КС, не доведено.

Не проводилися порівняльні дослідження ефективності кумулятивного пробиття КЗ із суцільним й порошковим корпусами, а також виготовленими за технологією “прямого” та “подвійного” пресування, що найбільше використовується провідними виробниками.

Потребує уваги й питання розробки конструкцій малогабаритних КЗ та споряджених ними кумулятивних перфораторів, які дадуть можливість підвищити ефективність свердловинних ПВР завдяки зменшенню аварійності та раціональному розміщенню КЗ у свердловині.

Вирішення цих питань має велике значення для успішної розробки впровадження ефективних нових, удосконалення існуючих конструкцій малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів, їхнього ефективного використання.

У другому розділі наведено методи досліджень конструкцій КЗ для свердловинних перфораторів та ефективності їхньої кумулятивної дії.

Розглянуто особливості розрахункового визначення параметрів функціонування КЗ, а саме швидкості головної частини КС за методом Орленка, який було розроблено для розрахунку КЗ, що мають конічні КО з суцільних матеріалів, та методом, розробленим Ю. О. Трішиним та С. А. Кінеловським (далі – метод Трішина-Кінеловського) для розрахунку параметрів КС, сформованих з порошкових КО.

Наведено методи дослідження фізичних властивостей насипного порошкового матеріалу та фізико-механічних властивостей спресованого з нього КО. Для визначення розмірів та форми зерен порошку було обрано методи електронної і оптичної мікроскопії. Пористість (щільність), акустична жорсткість спресованого матеріалу КО є одними з основних показників, що характеризують його фізико-механічні властивості, впливають на формування КС та, відповідно, параметри утворюваного ним перфораційного отвору. Визначення щільності пористого матеріалу КО, а відтак і його пористості проводилося з використанням методу гідростатичного зважування.

Дослідження кумулятивного пробиття конструкцій КЗ у стендових умовах проводилося з використанням металевих (сталевих, алюмінієвих) і комбінованих (бетонних) мішеней, які імітують свердловинні об'єкти перфорації – обсадні труби та породи-колектори, бурильні труби та ОБТ. При цьому малогабаритні КЗ (герметичної конструкції) встановлювалися кришкою на мішень. Сталева мішень складалася з пакета пластин зі сталі Ст3, завтовшки 10 мм кожна. Верхня пластина алюмінієвої мішені – сталева (Ст3), завтовшки 10 мм, імітує обсадну колону, інші пластини з алюмінієвого сплаву АМц Н, завтовшки 10 мм, імітують породу-колектор. Комбінована мішень має верхню сталеву пластину (Ст3), завтовшки 10 мм, яка імітує обсадну колону), встановлену на бетонний стовпчик, який імітує породу-колектор.

Вплив фізичних властивостей насипного порошкового матеріалу на експлуатаційні властивості спресованого з нього КО та, відповідно, кумулятивне пробиття КЗ визначався дослідженням кумулятивного пробиття КЗ сталевій мішені.

Порівняльне дослідження ефективності кумулятивного пробиття КЗ для свердловинних перфтораторів з суцільним і порошковим корпусами, як і виготовлених за технологією “прямого” пресування (КО запресовується безпосередньо в корпус КЗ із ВР насипної щільності) та “подвійного” пресування (у ВР, розміщеній у корпусі КЗ, попередньо профілюється кумулятивна виїмка, де потім розміщується КО), проводилося з використанням сталевих мішеней.

Експериментальне визначення швидкості головної частини КС проводилося за електроконтактною методикою, яка полягає у вимірюванні часу між замиканням головної частиною КС електроконтактних датчиків та наступному розрахунку швидкості головної частини КС. Кожний із датчиків являв собою електрично ізольовану між собою пару пластин з листової міді, завтовшки 0,1 мм, рознесених один від одного на 50 мм.

Свердловинні випробування малогабаритних КЗ проводилися у виробничих умовах (у складі малогабаритних свердловинних кумулятивних перфтораторів).

У третьому розділі описано результати експериментальних досліджень порошкових матеріалів і формування з них КО.

Проведено аналіз проб порошків металів, зокрема на основі вольфраму, з яких виготовлялися порошкові пресовані КО, визначено розміри зерен та їхній розподіл за фракціями.

До складу композитної суміші, з якої пресувалися КО, входив також порошок міді в попередньо визначеній експериментально кількості з розмірами фракцій, що відповідали розмірам досліджуваного порошку вольфраму.

Експериментально визначено, що для технології одностороннього “холодного” пресування КО існує діапазон розмірів зерен (140...160 мкм) та форми зерен (сферична або сфероїдна) порошкового матеріалу, з якого виготовляються КО для КЗ для свердловинних перфтораторів, при яких забезпечується найбільша глибина пробиття перфораційного отвору. Для часток сферичної та сфероїдної форми відношення максимального лінійного розміру частки до мінімального становить, відповідно, $l_{max}/l_{min} = 1-1,2$ та $l_{max}/l_{min} = 1,2-2$.

Зазначений ефект отримано як на гетерогенних, тобто композитних, сумішах W/Cu/Pb – 70/20/10 % (макети КЗ ЗГ2-42-150/100, ЗК1-80С), так і на гомогенних порошках металів, зокрема мідних ПМС-К ГОСТ 4960-75 (макети КЗ ЗКМ-38). Отримані залежності глибини пробиття КЗ L_{np} від розміру зерен порошкового матеріалу КО n_z наведено на рис. 1.

а б

Рис. 1. Залежність глибини пробиття КЗ від розміру зерен порошкового матеріалу КО: а – ЗГ2-42-150/100; б – ЗК1-80С; в – ЗКМ-38

Отримані залежності описуються функціями $y = f(x)$, де L_{np} позначено як y , $n_z \cdot 10^{-6}$ – як x (при достовірності апроксимації R^2):

$$y = -0,0007x^2 + 0,2047x + 48,217 \text{ (при } R^2 = 0,875) \text{ – рис. 1а;}$$

$$y = -0,0015x^2 + 0,4715x + 96,892 \text{ (при } R^2 = 0,8514) \text{ – рис. 1б;}$$

$$y = -0,0008x^2 + 0,2626x + 65,33 \text{ (при } R^2 = 0,871) \text{ – рис. 1в.}$$

У разі використання для виготовлення КО композитного порошку з зернами переважно сферичної або сфероїдної форми глибина перфораційного отвору становила 141 мм – для макетів КЗ ЗК1-80С та 90 мм – для макетів КЗ ЗКМ-38, а в разі використання порошку із зернами переважно дендритної форми ці значення становили, відповідно, 120 мм і 75 мм.

Наразі порошки “важких” металів із зернами сферичної та сфероїдної форми, зокрема, вольфраму, є порівняно менш поширеними та дорожчими на вітчизняному ринку порошкових матеріалів, що ускладнює їхнє застосування при серійному виготовленні КО та, відповідно, КЗ.

Зважаючи на це, під час свердловинних випробувань КЗ та їхньому подальшому серійному виготовленні для пресування КО будуть використовуватися порошки із зернами переважно дендритної форми.

Було проведено визначення інтегральної (загальної) пористості, а також пористість матеріалу окремих частин і фрагментів пресованих конічних КО різних КЗ. Отримані результати дозволили зробити висновок, що пористість матеріалу вершини конічного КО, виготовленого за технологією одностороннього “холодного” пресування, менша за інтегральну пористість матеріалу КО.

Для макета КЗ ЗКМ-38 із пресованим порошковим КО, виготовленим з порошкової міді фракцій 63...150 мкм (зерна переважно дендритної форми, трапляються зерна сферичної і сфероїдної форм), було проведено дослідження залежності інтегральної пористості матеріалу КО від тиску його пресування P_{np} . У разі зростання P_{np} від 430 до 1165 МПа спостерігалось зменшення інтегральної пористості матеріалу КО від 1,47 до 1,27 за лінійною залежністю.

У розділі 4 наведено результати експериментальних і розрахункових досліджень ефективності конструкцій КЗ для свердловинних перфтораторів.

Ґрунтовні дослідження конструкцій КЗ з метою визначення їхніх параметрів, при яких забезпечується необхідна геометрична конфігурація утворюваного перфораційного отвору, проводилися переважно з використанням макетів КЗ ЗКМ-38. Отримані результати досліджень було використано під час розробки малогабаритних КЗ ЗКМ-У-54 (мають подібну конструкцію, проте відрізняються геометричними параметрами), під час удосконалення КЗ ЗГ2-42-150/100, розробки та подальшого вдосконалення великогабаритних КЗ ЗК1-80С, ЗК2-80С, ЗГ2-100-150/50, ЗП2-67. В усіх КЗ використовуються конверсійні ВР.

Розроблено та досліджено нові склади композитного порошкового матеріалу на основі порошків “важких” металів, з якого за технологією одностороннього “холодного” пресування виготовляється КО, визначено відсотковий ваговий уміст складових компонентів, при котрому забезпечується найбільша глибина пробиття перфораційного отвору.

Аналіз результатів дослідження впливу на ефективність КЗ матеріалу КО, виготовленого з композитів Pb/W (зерна переважно сферичної та сфероїдної форм), показав, що найбільша глибина пробиття забезпечується в разі використання КО з відсотковим ваговим умістом складників 60...40/40...60 %. Порівняно з КО, спресованими з мідного порошку (середня глибина пробиття L_{np}^{cp} не перевищує 100 мм), такі композитні КО забезпечують більшу L_{np}^{cp} – 110 мм (для КЗ без кришки, на фокусній відстані 35 мм), що пов'язано з більшою щільністю та водночас і пористістю спресованого матеріалу КО.

Межі діапазону вагового відсоткового вмісту складників порошкового матеріалу КО визначаються найбільшою площею бічної поверхні перфораційного отвору S_6 , яка визначає обсяг припливу флюїду до свердловини через перфораційний отвір. При використанні КЗ з композитними КО Pb/W (60...40/40...60 %) S_6 становить 115...1165 мм².

Більші значення глибини пробиття можна забезпечити завдяки використанню композитних порошків КО зі збільшеним умістом вольфраму. Так КЗ із композитним КО Fe/W з відсотковим ваговим умістом складників у діапазоні 25/75 % забезпечує $L_{np}^{cp} = 160$ мм. Проте, зважаючи на підвищену крихкість таких КО, виготовлених за технологією одностороннього “холодного” пресування, їхнє практичне використання в серійних КЗ є ускладненим та недоцільним.

У разі використання суміші порошків із зернами переважно дендритної форми отримані значення L_{np}^{cp} для КЗ із композитними КО Pb/W (сферичної та сфероїдної форм) було досягнуто лише шляхом збільшення вмісту порошку W та додавання порошку Cu. Так за ефективністю кумулятивного пробиття КЗ із композитним КО Pb/W (50/50 %) відповідає КЗ із композитним КО W/Cu/Pb (70/20/10 %). При таких складах композитного матеріалу КО забезпечується найбільша глибина пробиття сталеві мішені – відповідно, 110 та 111 мм.

У разі використання порошкового корпусу КЗ, порівняно з суцільним, зменшується ефективність КЗ не лише за таким узагальненим показником, як S_b , а й, одночасно, за глибиною і вхідним діаметром (їх середніми значеннями) перфораційного отвору (для макета КЗ ЗП2-67 S_b зменшується з 4354 до 2399 мм² – майже вдвічі, L_{np}^{cp} – із 131 до 97мм, $d_{отв}^{cp}$ – із 21,1 до 15,7 мм, тобто на 25 %).

Застосування КО з порошкового алюмінію та збільшення його кута розкриття з $2\alpha = 60^\circ$ до $2\alpha = 70^\circ$ дає можливість отримати перфораційний отвір у мішені з більшим ніж удвічі вхідним діаметром, порівняно з мідним порошковим КО ($2\alpha = 60^\circ$), за суттєвого зменшення глибини пробиття. Збільшення S_b в разі використання алюмінієвих порошкових КО можна отримати за рахунок змінної товщини КО, тобто при різному внутрішньому/зовнішньому куті розкриття КО – $2\alpha_{внутр}/2\alpha_{зовніш}$. Так, макет КЗ ЗКМ-38 забезпечує формування перфораційних

отворів з такими геометричними параметрами: $d_{отв}^{cp} = 15,2$ мм, $L_{np}^{cp} = 25$ мм, $S_b = 624$ мм² ($2\alpha_{внутр}/2\alpha_{зовніш} = 60/60^\circ$); $d_{отв}^{cp} = 20,2$ мм, $L_{np}^{cp} = 20$ мм, $S_b = 711$ мм² ($2\alpha_{внутр}/2\alpha_{зовніш} = 70/70^\circ$); $d_{отв}^{cp} = 17$ мм, $L_{np}^{cp} = 27$ мм, $S_b = 755$ мм² ($2\alpha_{внутр}/2\alpha_{зовніш} = 55/60^\circ$).

У разі збільшення габариту КЗ (діаметра описаного навколо КЗ кола) з 38 до 42 мм, тобто при використанні “довгої” кришки КЗ замість “короткої”, можливо забезпечити зростання середньої глибини пробиття КЗ від L_{np}^{cp} до $1,2L_{np}^{cp}$.

Було досліджене кумулятивне пробиття алюмінієвої мішені макетами КЗ ЗКМ-38 із КО ($2\alpha_{внутр}/2\alpha_{зовніш} = 55/60^\circ$), виготовленими з різних порошкових матеріалів за інших однакових умов (зерна переважно сферичної та сфероїдної форми з розмірами 100...125 мкм, однакові умови виготовлення і проведення експерименту), які мали, відповідно, різну питому акустичну жорсткість: $Z_{00} = \rho_{00}c_{0v}$, де ρ_{00} – щільність пористого матеріалу КО, c_{0v} – швидкість звуку.

КО пресувалися з порошкового алюмінію, міді та суміші алюміній/мідь з таким відсотковим ваговим умістом складових компонентів (до щільності ρ_{00} , г/см³): 0/100 % (6,47), 20/80 % (4,81), 30/70 % (4,29), 50/50 % (3,52), 70/30 % (2,99), 80/20 % (2,78), 100/0 % (2,43). КО запресовувалися у флегматизований октоген насипної щільності.

Швидкість звуку в пористому матеріалі КО c_{0v} визначалася аналітично.

Діаграми залежності геометричних параметрів перфораційного отвору в алюмінієвій мішені (діаметр основи КО $d_{ко} = 25,7$ мм) від питомої акустичної жорсткості пористого матеріалу КО наведено на рис. 2.

Отримані залежності доводять, що на геометричні параметри утворюваного перфораційного отвору впливає не лише щільність матеріалу КО, згідно з гідродинамічною теорією кумуляції, але і його акустична жорсткість.

а

б

Рис. 2. Діаграми залежності геометричних параметрів перфораційного отвору в алюмінієвій мішені від питомої акустичної жорсткості матеріалу порошкового КО: а – відносної глибини пробиття; б – відносного вхідного діаметра отвору у сталевій пластині (1), відносного вхідного діаметра отвору у верхній алюмінієвій пластині (2)

Отримані залежності доводять, що на геометричні параметри утворюваного перфораційного отвору впливає не лише щільність матеріалу КО, згідно з гідродинамічною теорією кумуляції, але і його акустична жорсткість. Ці залежності описуються лінійними функціями $y = f(x)$, де $L_{np}/d_{ко}$ та $d_{отв}/d_{ко}$ позначено як y , $Z_{00} \cdot 10^6$ – як x (при достовірності апроксимації R^2):

$$y = 2,9934x - 14,345 \text{ (при } R^2 = 0,9748) \text{ – рис. 2а;}$$

$$y = -0,2234x + 1,786 \text{ (при } R^2 = 0,9732) \text{ – рис. 2б (залежність 1);}$$

$$y = -0,2574x + 2,162 \text{ (при } R^2 = 0,9654) \text{ – рис. 2б (залежність 2).}$$

Залежності геометричних параметрів перфораційного отвору від щільності матеріалу КО (згідно з гідродинамічною теорією кумуляції) також описуються лінійними функціями, проте з менш означеною залежністю параметрів: $y = 0,8619x - 0,9639$ (при $R^2 = 0,9807$) – для відносної глибини пробиття, $y = -0,0639x + 0,7857$ (при $R^2 = 0,9674$) та $y = -0,0738x + 1,0103$ (при $R^2 = 0,9629$) – для відносного вхідного діаметра перфораційного отвору у, відповідно, сталевій пластині та верхній алюмінієвій пластині мішені.

У разі збільшення питомої акустичної жорсткості спресованого матеріалу КО в 1,25 раза можна отримати зростання за лінійною залежністю глибини перфораційного отвору в алюмінієвій мішені до $3,5L_{np}$ за одночасного зменшення вхідного діаметра перфораційного отвору (у сталевій пластині) до $0,56d_{ome1}$ (в 1,8 раза). При цьому різниця вхідних діаметрів у сталевій і верхній алюмінієвій пластині визначається стисливістю та акустичною жорсткістю матеріалу пластин.

Таким чином, без зміни технологічного процесу виготовлення КО та КЗ при зміні насипного порошкового матеріалу, з якого за технологією одностороннього “холодного” пресування виготовляється КО, можна керувати процесом кумулятивного пробиття з метою отримання перфораційних отворів необхідної геометричної конфігурації (великої глибини, великого вхідного діаметра або з їхніми проміжними значеннями).

Технологія “подвійного” пресування КЗ забезпечує більшу ефективність кумулятивного пробиття сталевій мішені, зокрема більші значення глибини пробиття мішені для макетів КЗ ЗКМ-У-54 на 5 % (до $L_{np}^{cp} = 135$ мм), площі перфораційного отвору – на 7 % (до $S_{\sigma} = 2482$ мм²), порівняно з технологією “прямого” пресування ($L_{np}^{cp} = 128$ мм, $S_{\sigma} = 2313$ мм²). Зважаючи на більші технологічні витрати під час “подвійного” пресування КЗ (більша собівартість виготовлення КЗ та, відповідно, вартість перфораційного отвору) за порівняно невеликого підвищення ефективності, перевагу слід надавати технології “прямого” пресування. При технології “прямого” пресування КЗ відсутні зазори між КО та кумулятивною виїмкою, чим забезпечується вісесиметричність ініціювання сформованої шашки ВР і вибухового обтиснення КО, а отже, відсутнє викривлення КС та зумовлене цим зменшення пробивної здатності КЗ.

Проведено розрахункове визначення за методом Орленка й методом Трішина-Кінеловського швидкості головної частини КС V_{ji} , що формується з мідного конічного КО різної пористості в процесі його вибухового обтиснення продуктами детонації спресованого гексогену зі швидкістю детонації 8,1 км/с. У разі збільшення пористості матеріалу вершини КО розрахована швидкість головної частини КС зростає за нелінійною залежністю (похилоспадною – за методом Орленка, крутоспадною – за методом Трішина-Кінеловського).

Аналітично отримано залежності швидкості головної частини КС від пористості матеріалу вершини мідного КО в діапазоні кутів розкриття КО $2\alpha = 30...90^\circ$:

$$V_{ji} = 3,7m^2 + 0,46m + 6,85 - 2\alpha = 30^\circ;$$

$$V_{ji} = 2,73m^2 + 0,45m + 5,03 - 2\alpha = 40^\circ;$$

$$V_{ji} = 2,47m^2 + 0,42m + 4,56 - 2\alpha = 44^\circ;$$

$$V_{ji} = 1,97m^2 + 0,3m + 3,65 - 2\alpha = 55^\circ;$$

$$V_{ji} = 1,53m^2 + 0,22m + 2,84 - 2\alpha = 70^\circ;$$

$$V_{ji} = 1,33m^2 + 0,19m + 2,46 - 2\alpha = 80^\circ;$$

$$V_{ji} = 1,15m^2 + 0,23m + 2,12 - 2\alpha = 90^\circ.$$

Визначено пористість матеріалу вершини КО в процесі його вибухового обтиснення продуктами детонації спресованого гексогену зі швидкістю детонації 8,1 км/с, при якій забезпечується формування високощільного КС із найбільшою швидкістю головної частини КС.

Як впливає з критерію струменеутворення, високощільні КС утворюються за умови

$$V_k/c_s \leq 1, \quad (1)$$

де V_k – швидкість руху точки сплескування КО;

c_s – швидкість звуку у хвилі розрідження в матеріалі КО.

Швидкість руху точки сплескування КО розраховується за формулою:

$$V_k = V_0 / \sin \alpha, \quad (2)$$

де V_0 – швидкість вибухового обтиснення КО.

Як показав аналіз результатів розрахунку критерію струменеутворення (1, 2) за методом Трішина-Кінеловського, для мідних КО з різними m та 2α параболічні залежності $V_k/c_s = f(m)$ мають екстремуми в діапазоні пористості $m = 1,6 \dots 1,8$ (гілки параболи направлено донизу), що відповідають найбільшій швидкості головної частини високощільного КС.

Хоча аналітично й можна визначити точні значення цих екстремумів, проте істотного практичного значення це не має, зважаючи на технологічну складність забезпечення точного значення та вимірювання пористості матеріалу КО. Таким чином, доцільним є виготовлення КО з пористістю матеріалу вершини КО в діапазоні $m = 1,6 \dots 1,8$. Це дасть змогу забезпечити формування високощільного КС з найбільшою швидкістю головної частини КС, що є одним з чинників високої пробивної здатності КЗ.

Проте необхідно враховувати як умови утворення високощільного КС, так і практичний діапазон пористості, що залежить від технології виготовлення порошкового КО.

Так у разі виготовлення КО за технологією одностороннього “холодного” пресування забезпечити такі значення пористості матеріалу вершини КО неможливо, оскільки, як показали спроби практичного виготовлення, при цьому значення інтегральної пористості КО є меншими за 1,5. Більші значення пористості матеріалу КО можливо отримати за іншими технологіями виготовлення, наприклад, у процесі пресування з наступним спіканням.

Було експериментально визначено залежність швидкості головної частини КС (кожне значення є усередненим за результатами п'яти експериментів) від пористості матеріалу вершини конічного КО. Для цього мідні порошкові КО були виготовлені за різних тисків пресування P_{np} та мали, відповідно, різну інтегральну пористість і пористість матеріалу вершини КО. В цьому дослідженні припускалося, що значення пористості матеріалу вершини КО, запресованого в КЗ, близьке до значень пористості матеріалу вершини незапресованого КО. Це припущення робилося з урахуванням меншої пористості матеріалу (більшого ущільнення) вершини КО, а також номінального тиску запресовування КО в корпус КЗ із ВР насипної щільності (795 МПа). Інтегральній пористості матеріалу конічного КО 1,36 (у разі номінального $P_{np} = 765$ МПа) відповідає пористість матеріалу його вершини $m = 1,12$.

Результати експериментального вимірювання швидкості головної частини КС мідного порошкового КО макетів різних малогабаритних КЗ, а також її розрахункового визначення різними методами, залежно від пористості матеріалу вершини КО, наведено на рис. 3.

Рис. 3. Діаграма залежності швидкості головної частини КС від пористості матеріалу вершини КО:
 1 – розрахунок за методом Трішина-Кінеловського (ЗКМ-У-54);
 2 – розрахунок за методом Трішина-Кінеловського (ЗКМ-38);
 3 – розрахунок за методом Орленка (ЗКМ-У-54); 4 – розрахунок за методом Орленка (ЗКМ-38);
 5 – експериментальне вимірювання (ЗКМ-У-54); 6 – експериментальне вимірювання (ЗКМ-38)

Як видно з отриманих результатів, зі збільшенням пористості матеріалу вершини КО виміряна швидкість головної частини КС V_{ji} зростає, що не суперечить результатам розрахунку.

За значень пористості матеріалу вершини КО в діапазоні $m = 1,08 \dots 1,19$ (при практичних значеннях інтегральної пористості КО, менших за 1,5) виміряні значення швидкості головної частини КС є проміжними між відповідними розрахунковими значеннями, отриманими за

різними методами, при цьому їхнє відхилення від розрахованих за методом Орленка не перевищує 12 %.

Таким чином, проведене вимірювання швидкості головної частини КС і порівняння отриманих результатів з розрахунковими дає змогу зробити висновок про можливість використання методу Орленка для розрахунку швидкості головної частини КС, сформованих з порошкових КО. При цьому забезпечується достатньо задовільна для проектування збіжність з фактичними показниками функціонування КЗ.

У розділі 5 наведено результати випробувань і впровадження розроблених конструкцій КЗ та споряджених ними нових конструкцій малогабаритних кумулятивних перфораторів.

На основі отриманих результатів було розроблено методичні рекомендації з проектування та виготовлення конструкцій малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів.

Розроблено малогабаритні КЗ для свердловинних перфораторів – ЗКМ-38 та ЗКМ-У-54 різних модифікацій та, відповідно, різного функціонального призначення: ЗКМ-38К, ЗКМ-38Д, ЗКМ-У-54К (композитне порошкове КО W/Cu/Pb (70/20/10 %)) – для перфорації обсадних колон діаметром до 168 мм і товщиною стінки до 12,1 мм (з метою розкриття продуктивних пластів); ЗКМ-38ВБ, ЗКМ-У-54ВБ (мідне порошкове КО) – для перфорації ОБТ із товщиною стінки від 45 до 50 мм; ЗКМ-38Б (алюмінієве порошкове КО) – для перфорації бурильних труб діаметром від 73 мм і товщиною стінки до 11 мм; ЗКМ-У-54Б (алюмінієве порошкове КО) – для перфорації бурильних труб діаметром від 89 мм і товщиною стінки до 11 мм. КЗ ЗКМ-У-54, які відрізняються лише матеріалом КО, наведено на рис. 4.

У процесі завершальних стендових випробувань КЗ на пробивну здатність із використанням сталеві/бетонної мішені було отримано такі результати:

L_{np}^{cp}	=	75/242	мм,	d_{ome}^{cp}	=	8	мм	(ЗКМ-38К);
L_{np}^{cp}	=	91/302	мм,	d_{ome}^{cp}	=	7	мм	(ЗКМ-38Д);
L_{np}^{cp}	=	20/64	мм,	d_{ome}^{cp}	=	18	мм	(ЗКМ-38Б);
$L_{np}^{cp} = 50/179$	мм,	$d_{ome}^{cp} = 11$	мм (ЗКМ-38ВБ);	$L_{np}^{cp} = 143/548$	мм,	$d_{ome}^{cp} = 11$	мм (ЗКМ-У-54К);	
$L_{np}^{cp} = 33/80$	мм,	$d_{ome}^{cp} = 23$	мм (ЗКМ-У-54Б);					
$L_{np}^{cp} = 75/242$	мм,	$d_{ome}^{cp} = 18$	мм (ЗКМ-У-54ВБ).					

Достатньо високу ефективність розроблених малогабаритних КЗ підтверджено також результатами порівняльних стендових випробуваннях з імпортними аналогами (фірм DYNAenergetics, Owen), які найбільше використовуються на вітчизняних нафтогазових родовищах.

Удосконалено серійний малогабаритний КЗ ЗГ2-42-150/100 з мідним порошковим КО ($L_{np}^{cp} = 50/179$ мм, $d_{ome}^{cp} = 11$ мм) завдяки застосуванню композитного КО W/Cu/Pb без зміни інших конструктивних елементів. Це дало можливість створити його модифікацію ЗГ2-42-01-150/100 порівняно більшої пробивної здатності ($L_{np}^{cp} = 61/198$ мм, $d_{ome}^{cp} = 10$ мм).

Розроблено конструкції малогабаритних кумулятивних перфораторів різних типів, які споряджаються розробленими КЗ.

Успішно випробувано в полігонній (стендовій) свердловині кумулятивний розсувний перфоратор із двосторонньою дією на пласт. Його використання дозволить підвищити ефективність вторинного розкриття продуктивних пластів завдяки їхньому раціональному розміщенню у свердловині – КЗ притискаються до стінок обсадної колони в інтервалі перфорації.

Розроблено конструкції малогабаритних перфораторів ПКМ-38 (споряджаються КЗ ЗКМ-38) та ПКМ-54 (споряджаються КЗ ЗКМ-У-54) зі стрічкою, що вилучається. Ці конструкції пройшли контрольні (стендові) випробування, а також свердловинні випробування у виробничих умовах.

За позитивними загалом результатами свердловинних випробувань КЗ ЗКМ-38 та ЗКМ-У-54 були рекомендовані до постійного застосування у виробничих умовах за умови доопрацювання і вдосконалення вузла кріплення детонувального шнура до корпусу КЗ при свердловинних випробуваннях перфораторів.

Під час проведення свердловинних випробувань конструкцію перфораторів типу ПКМ було вдосконалено. Це дало змогу підвищити надійність і забезпечити безаварійність їхньої роботи (відсутність відмов, прихватів) при застосуванні різних технологій свердловинних ПВР.

Було вдосконалено серійний малогабаритний перфоратор ПБ2-42Н – у його конструкції застосовано нові запатентовані конструктивні елементи (центратори).

Підтверджено під час свердловинних випробувань достатньо високу ефективність розкриття продуктивних пластів розробленими малогабаритними КЗ ЗКМ-38 та ЗКМ-У-54, якими споряджалися кумулятивні свердловинні перфоратори, відповідно, ПКМ-38 та ПКМ-54.

При цьому було отримано промислові припливи флюїдів, успішно застосовано інші технології свердловинних ПВР: перфорацію для скидання води, забезпечено виконання робіт з ізоляції пласта (для ліквідації заколонних перетікань), а також перфорацію бурильних труб, ОБТ.

Економічний ефект, отриманий ЕГДС ДГП “Укргеофізика” та ЗАТ “Укрпромгеофізика” від використання на нафтогазових родовищах України КЗ ЗКМ-38, ЗКМ-У-54 та свердловинних перфораторів типу ПКМ, а також КЗ типу ЗГ2-42, становить 1170 тис. грн. Успішне промислове використання цих упроваджених малогабаритних КЗ, а також споряджених ними свердловинних малогабаритних кумулятивних перфораторів продовжується.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій розв’язано актуальне наукове завдання прикладного значення, яке полягає в обґрунтуванні раціональних параметрів конструкцій малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів – визначено закономірності впливу фізичних властивостей порошкового матеріалу та фізико-механічних властивостей спресованого з нього матеріалу

КО на процес кумулятивного пробиття, що дає змогу забезпечити ефективне кумулятивне пробиття з утворенням перфораційних отворів необхідної геометричної конфігурації без зміни інших параметрів конструкції КЗ.

Основні наукові та практичні результати, отримані в дисертації, полягають у наступному:

1. Забезпечення ефективного кумулятивного пробиття малогабаритними КЗ для свердловинних перфораторів обсадних колон і порід-колекторів, бурильних труб та ОБТ з метою створення перфораційних отворів необхідної геометричної конфігурації потрібно пов’язувати з пошуком раціональних параметрів конструктивних елементів КЗ, насамперед КО, виготовлених з порошкових матеріалів.

2. Визначено розміри (140...160 мкм) і форму зерен (сферична або сфероїдна) порошкового матеріалу, при яких глибина пробиття перфораційного отвору є найбільшою.

3. Встановлено, що на геометричні параметри утворюваного перфораційного отвору впливає не лише щільність спресованого порошкового матеріалу КО, згідно з гідродинамічною теорією кумуляції, але і його акустична жорсткість. Визначено залежності параметрів перфораційного отвору від питомої акустичної жорсткості матеріалу КО, спресованого з порошоків алюмінію, міді та їхніх сумішей при інших однакових умовах.

4. Аналітично отримано залежності швидкості головної частини КС від пористості матеріалу вершини мідного КО в діапазоні кутів розкриття КО 30...90° у процесі його

вибухового обтиснення продуктами детонації спресованого гексогену зі швидкістю детонації 8,1 км/с.

5. Визначено значення пористості матеріалу вершини мідного КО (1,6...1,8) у процесі його вибухового обтиснення продуктами детонації спресованого гексогену зі швидкістю детонації 8,1 км/с, при яких забезпечується формування високощільного КС із найбільшою швидкістю головної частини. Експериментально визначено, що пористість матеріалу вершини конічного КО, виготовленого за технологією одностороннього “холодного” пресування, менша за інтегральну пористість матеріалу КО.

6. Доведено можливість використання інженерного методу Л. П. Орленка, розробленого для розрахунку параметрів функціонування КЗ з суцільними КО, для розрахунку швидкості головної частини КС, сформованих з порошкових КО.

7. Встановлено, що у разі використання порошкового корпусу КЗ, порівняно з суцільним, ефективність кумулятивного пробиття зменшується (за площею бічної поверхні перфораційного отвору – майже вдвічі, за глибиною і вхідним діаметром – на чверть), а при виготовленні КЗ за технологією “подвійного” пресування, порівняно з технологією “прямого” пресування, – збільшується незначно (за глибиною та площею бічної поверхні перфораційного отвору – відповідно на 5 та 7 %).

8. Розроблено нові склади композитного матеріалу порошкових КО на основі порошків “важких” металів, використання яких у конструкціях КЗ забезпечує найбільшу глибину пробиття або найбільшу площу бічної поверхні перфораційного отвору.

9. Розроблено методичні рекомендації з проектування та виготовлення конструкцій малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів, які було впроваджено в НІЦ “МВ” ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ.

10. Розроблено та впроваджено ефективні малогабаритні КЗ ЗКМ-38, ЗКМ-У-54 різного функціонального призначення, свердловинні кумулятивні малогабаритні перфоратори ПКМ-38 та ПКМ-54, які споряджаються розробленими КЗ, удосконалено серійний малогабаритний перфоратор ПБ2-42Н та КЗ до нього ЗГ2-42-150/100. Успішно випробувано розсувний перфоратор із двосторонньою дією на пласт, який споряджається малогабаритними КЗ ЗКМ-38.

11. Визначено економічний ефект, отриманий ЕГДС ДГП “Укргеофізика” та ЗАТ “Укрпромгеофізика” від використання на нафтогазових родовищах України розроблених і впроваджених малогабаритних КЗ, а також споряджених ними кумулятивних свердловинних перфораторів, який становить 1170 тис. грн. Їхнє успішне промислове використання продовжується.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Драчук О. Г. Вторинне розкриття пластів як метод контролю та оцінки перспективності об'єкта / О. Г. Драчук, Ю. І. Войтенко // Геоінформатика. – 2007. – № 4. – С. 48–52.

2. Гошовський С. В. Сучасні кумулятивні заряди та результати їх досліджень / С. В. Гошовський, Ю. І. Войтенко, О. Г. Драчук, В. П. Бугаєць // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – № 3, 2008 р. – С. 151–158.

3. Драчук О. Г. Про вимірювання швидкості головної частини кумулятивного струменя / О. Г. Драчук, Ю. І. Войтенко Ю.І. // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2009. – № 1–2. – С. 111–113.

4. Войтенко Ю. І. Вплив характеристик фракцій матеріалу порошкового облицювання на ефективність кумулятивного заряду / Ю. І. Войтенко, О. Г. Драчук, В. П. Бугаєць, М. І. Боримчук // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2006. – № 2. – С. 92–97.

5. Гошовський С. В. Результати розробки і впровадження вітчизняних малогабаритних

перфораторних зарядів та систем / С. В. Гошовський, О. Г. Драчук, Ю. І. Войтенко, В. П. Бугаєць, М. І. Боримчук // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2008. – № 4. – С. 116–127.

6. Драчук О. Г. Дослідження кумулятивного пробиття мішеней малогабаритними кумулятивними зарядами з порошковими облицюваннями для свердловинних перфораторів / О. Г. Драчук // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2010. – № 1–2. – С. 131–139.

7. Гошовський С. В. Про застосування конверсійних вибухових речовин у технологіях прострілювально-вибухових робіт / С. В. Гошовський, Ю. І. Войтенко, В. Д. Кукшин, О. Г. Драчук // Вісник КДПУім. М. Остроградського. – 2008. – Вип. 1/2008 (48). – С. 85–88.

8. Пат. 10649 Україна, МПК Е 21 В 43/117. Кумулятивний заряд перфоратора / Войтенко Ю. І., Гошовський С. В., Бугаєць В. П., Боримчук М. І., Драчук О. Г.; заявник і патентовласник Український державний геологорозвідувальний інститут. – № 200505197; заявл. 31.05.05 ; опубл. 15.11.05, Бюл. № 11.

9. Пат. 6379 Україна, МПК Е 21 В 43/117. Речовина облицювання кумулятивного заряду / Войтенко Ю. І., Гошовський С. В., Волгін Л. О., Боримчук М. І., Бугаєць В. П., Драчук О. Г.; заявник і патентовласник Український державний геологорозвідувальний інститут. – № 20040705345; заявл. 05.07.04 ; опубл. 16.05.05, Бюл. № 5.

10. Пат. 13604 Україна, МПК Е 21 В 43/117. Кумулятивний розсувний перфоратор / Войтенко Ю. І., Гошовський С. В., Драчук О. Г.; заявник і патентовласник Український державний геологорозвідувальний інститут. – № 200508761; заявл. 14.09.05; опубл. 17.04.06, Бюл. № 4.

11. Пат. 24434 Україна, МПК Е 21 В 43/117. Кумулятивний свердловинний перфоратор / Ковтун Ф. І., Драчук О. Г., Гошовський С. В., Волгін Л. О., Глагола Д. Д., Денисенко М. Г., Войтенко Ю. І.; заявник і патентовласник Український державний геологорозвідувальний інститут. – № 200703258; заявл. 27.03.07; опубл. 25.06.07, Бюл. № 9.

12. Пат. 38487 Україна, МПК Е 21 В 43/117. Кумулятивний свердловинний перфоратор / Войтенко Ю. І., Гошовський С. В., Драчук О. Г.; заявник і патентовласник Український державний геологорозвідувальний інститут. – № 200810136; заявл. 06.08.08; опубл. 12.01.09, Бюл. № 1.

13. Пат. 17070 Україна, МПК Е 21 В 43/117. Кумулятивний свердловинний перфоратор / Войтенко Ю. І., Коваленко О. Д., Гошовський С. В., Драчук О. Г.; заявник і патентовласник Український державний геологорозвідувальний інститут. – № 200601902; заявл. 22.02.06 ; опубл. 15.09.06, Бюл. № 9.

14. Гошовський С. В. Дослідження впливу особливостей конструкції та геометричних параметрів на ефективність малогабаритних кумулятивних зарядів / Гошовський С. В., Драчук О. Г., Войтенко Ю. І., Боримчук М. І., Бугаєць В. П. – К.: УкрДГРІ, 2007. – 56 с. – (Препринт / Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Український державний геологорозвідувальний ін-т ; УкрДГРІ ; 2007).

15. Драчук О. Г. Розрахунок параметрів функціонування кумулятивних зарядів із пористим облицюванням / Драчук О. Г., Гошовський С. В., Войтенко Ю. І. – К.: УкрДГРІ, 2007. – 42 с. (Препринт / Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Український державний геологорозвідувальний ін.-т ; УкрДГРІ ; 2007).

16. Гошовський С. В. Застосування порошкових матеріалів у технологіях виготовлення кумулятивних зарядів / Гошовський С. В., Драчук О. Г., Войтенко Ю. І. – К.: УкрДГРІ, 2005. – 48 с. – (Препринт / Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Український державний геологорозвідувальний ін.-т ; УкрДГРІ ; 2005).

17. Войтенко Ю. І. Причини ускладнень при використанні перфораторних систем і безпека

прострілювально-вибухових робіт у свердловинах / Ю. І. Войтенко, О. Г. Драчук, Д. Д. Глагола // Нафта і газ України : матеріали 8-ї Міжнародної науково-практичної конференції “Нафта і газ України – 2004” (Судак, 29 вересня – 1 жовтня 2004 р.). – К.: УНГА, 2004. – С. 387–388.

АНОТАЦІЯ

Драчук О. Г. Обґрунтування раціональних параметрів малогабаритних кумулятивних зарядів для свердловинних перфораторів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – машини нафтової та газової промисловості. Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2010.

У дисертації обґрунтовано раціональні параметри малогабаритних кумулятивних зарядів (КЗ) для свердловинних перфораторів, при яких забезпечується ефективне кумулятивне пробиття з утворенням перфораційних отворів необхідної геометричної конфігурації без зміни інших параметрів конструкції КЗ.

Визначено закономірності впливу розмірів і форми зерен порошкового матеріалу, а також пористості й акустичної жорсткості матеріалу спресованого з нього за технологією одностороннього “холодного” пресування кумулятивного облицювання (КО), технологій виготовлення на ефективність кумулятивного пробиття. Доведено можливість застосування інженерного методу Л. П. Орленка для розрахунку швидкості головної частини кумулятивних струменів, сформованих із порошкових КО.

Розроблено і впроваджено методичні рекомендації з проектування та виготовлення конструкцій малогабаритних КЗ для свердловинних перфораторів. Розроблено, вдосконалено та впроваджено у виробництво малогабаритні КЗ, а також споряджені ними свердловинні кумулятивні перфоратори.

Ключові слова: малогабаритний кумулятивний заряд, свердловинний перфоратор, порошкові матеріали, кумулятивне облицювання, пористість, кумулятивний струмінь, мішень, кумулятивна перфорація, прострілювально-вибухові роботи.

АННОТАЦИЯ

Драчук А. Г. Обоснование рациональных параметров малогабаритных кумулятивных зарядов для скважинных перфораторов. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.12 – машины нефтяной и газовой промышленности. Национальный горный университет, Днепропетровск, 2010.

В диссертации обоснованы рациональные параметры малогабаритных кумулятивных зарядов (КЗ) для скважинных перфораторов путем определения закономерностей влияния физических свойств (размеров и формы зерен) порошкового материала и физико-механических свойств (пористости, акустической жесткости) материала спресованной из него кумулятивной облицовки (КО), при которых обеспечивается эффективное кумулятивное пробитие с формированием перфорационных отверстий необходимой геометрической конфигурации без изменения других параметров конструкции КЗ.

Установлены размеры и форма зерен порошкового материала, из которого изготавливается КО, в том числе из новых композитов на основе порошков “тяжелых” металлов, при которых обеспечивается наибольшая глубина пробития перфорационного отверстия.

Определена зависимость геометрических параметров перфорационного отверстия от удельной акустической жесткости материала КО.

Найдены функции зависимости скорости головной части КС от пористости материала вершины медного КО в зависимости от угла раскрытия КО, а также определена пористость материала медного КО при ее взрывном обжатию продуктами детонации спресованного гексогена,

при которой обеспечивается наибольшая скорость головной части высокоплотной КС. Экспериментально определена пористость материала конических КО и их отдельных частей.

Экспериментально и аналитически определена скорость головной части кумулятивной струи (КС). Доказана возможность использования инженерного метода Л. П. Орленко для расчета скорости головной части КС, сформированных из порошковых КО.

Проведено сравнение эффективности кумулятивного пробития КЗ со сплошным и порошковым корпусом, а также КЗ, изготовленных по разным технологиям.

Разработаны методические рекомендации по проектированию и изготовлению конструкций малогабаритных КЗ для скважинных перфораторов, разработаны и внедрены в производство конструкции малогабаритных КЗ различного функционального назначения, снаряжаемые ими малогабаритные скважинные кумулятивные перфораторы, усовершенствован серийный малогабаритный кумулятивный перфоратор и КЗ к нему.

Ключевые слова: малогабаритный кумулятивный заряд, скважинный перфоратор, порошковые материалы, кумулятивная облицовка, пористость, кумулятивная струя, мишень, кумулятивная перфорация, прострелочно-взрывные работы.

ABSTRACT

Drachuk O. G. Ground of rational parameters of small-sized shaped charges for downhole perforators. – Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree by speciality 05.05.12 – machines of oil and gas industry. – National Mining University, Dnipropetrovsk, 2010.

In dissertation grounded rational parameters of small-sized shaped charges (SC) for downhole perforators with powder cumulative linear (CL), made for technologies of one-sided cold-press, at which effective cumulative strike-through is provided with formation of holes of necessary geometrical configuration without the change of other parameters of construction of SC.

Conformities to law of influence of sizes and form of grains of powder material, and also porosity and acoustic inflexibility of material pressed from it on technology of one-sided cold-press of CL, technologies of making on efficiency of cumulative strike-through. Possibility of application of engineering method of L. P. Orlenko is proved for the calculation of speed of the head parts of the cumulative jet, which formed from powder CL.

Methodical recommendations are developed from planning and making of constructions of small-sized SC for downhole perforators. Small-sized SC and also downhole cumulative perforators, which equipped by them are developed, improved and applied in industry.

Key words: small-sized shaped charge, downhole perforator, powder materials, cumulative linear, porosity, cumulative jet, target, cumulative perforation, explosive works.

Підписано до друку 28.04.2010.
Формат 60x90/16. Ум. друк. арк.
Тираж 100 прим. Зам. № 17

Видавництво УкрДГРІ
Реєстраційне свідоцтво серія ДК № 182 від 18.09.2000 р.

Адреса редакції та п/п: Інформаційно-видавничий відділ УкрДГРІ
04114, Київ-114, вул. Автозаводська, 78