

622.248(043)
Р 69

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Романишин Тарас Любомирович

УДК 622.248.6:621.318.2



**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВИБОЇВ
НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН ПРИСТРОЯМИ
НА ОСНОВІ ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ**

Спеціальність 05.05.12 – машини нафтової та газової промисловості

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Крижанівський Євстахій Іванович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу, ректор

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Яким Роман Степанович,
Дрогобицький державний педагогічний
університет імені Івана Франка, м. Дрогобич,
професор кафедри машинознавства та основ
технологій

кандидат технічних наук, доцент
Червінський Володимир Петрович,
корпорація "Харківмаш", м. Харків,
головний конструктор

Захист відбудеться "31" березня о 10⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

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

Автореферат розісланий "27" лютого 2015 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04
кандидат технічних наук, доцент



Л. Д. Пилипів



ГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Забезпечення України власними енергоносіями неможливе без збільшення обсягів буріння геологорозвідувальних і експлуатаційних свердловин. Процес спорудження нафтогазових свердловин супроводжується періодичними відмовами та поломками бурового інструменту, в результаті чого на вибої залишаються різні за формою і масою металеві уламки. У зв'язку з виснаженням родовищ, використанням морально застарілої техніки щорічно зростає обсяг робіт із ремонту свердловин, під час проведення яких часто відбувається падіння інструменту і металевих уламків у свердловину.

Одним із найефективніших способів очищення вибоїв свердловин від стороннього металу є застосування магнітних ловильних пристроїв, що уловлюють феромагнітні предмети без їх попереднього руйнування. Різноманіття аварій та, як наслідок, аварійних металевих предметів на вибоях свердловин зумовлює широке використання магнітних пристроїв, незважаючи на існуючі недоліки. Відомі в Україні та за кордоном магнітні ловильні пристрої характеризуються невисокою вантажопідіймальною силою внаслідок використання литих або керамічних магнітів, низькою надійністю під час уловлювання та вилучення із свердловини видовжених металевих предметів і швидким зношенням робочої поверхні магнітної системи.

За останній час відбулися значні зміни в технології виготовлення магнітотвердих матеріалів, що дало можливість розробити постійні магніти з рідкісноземельних матеріалів. Перспективним є застосування таких магнітів у системах ловильних пристроїв, що дасть змогу створити нові конструкції з суттєво вищими характеристиками.

У зв'язку з тим, що відомі пристрої не забезпечують якісне очищення вибою в процесі спорудження та ремонту свердловин, актуальним є завдання вдосконалення свердловинних ловильних пристроїв на основі постійних магнітів із рідкісноземельних матеріалів і визначення їх експлуатаційних характеристик.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є складовою частиною планових державних науково-дослідних робіт, виконаних в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу, а саме: Д-18-12-П "Розроблення методів управління процесом спорудження скерованих свердловин в сланцевих і вугільних відкладах" (№ ДР 0112U004157). У результаті виконання НДР одержано методи локалізації проблемних моментів, пов'язаних з аварійними роботами в скерованих свердловинах із вилучення металевих залишків у результаті руйнування елементів бурового інструменту.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності очищення вибоїв свердловин від феромагнітних предметів пристроями на основі постійних магнітів із рідкісноземельних матеріалів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

- аналіз стану вибоїв свердловин у процесі буріння та ремонту;
- обґрунтування вибору магнітотвердих матеріалів і раціональних конструкцій магнітних систем;
- визначення раціональних геометричних співвідношень елементів систем та оцінка їх ефективності на основі моделювання систем із нсодимових рідкісноземельних магнітів;
- удосконалення методу визначення тягових характеристик та експериментальні дослідження силових і магнітних характеристик ловильних пристроїв;
- розроблення конструкцій ловильних пристроїв підвищеної вантажопідіймальності та їх дослідно-промислові випробування.

Об'єкт дослідження. Процес взаємодії магнітного поля пристроїв на основі постійних магнітів із феромагнітними предметами у свердловині.

Предмет дослідження. Удосконалення пристроїв на основі постійних магнітів для очищення вибоїв свердловин від металу.

Методи дослідження. У процесі виконання роботи використано методи фізичного моделювання для дослідження процесу очищення вибоїв свердловин від металевих предметів; метод скінченних елементів для побудови розрахункової моделі магнітної системи; основи теорії магнітного поля та магнітостатики для розрахунку магнітної системи; методи математичної статистики під час опрацювання результатів експериментальних досліджень і в ході проведення кваліметричного аналізу магнітних ловильних пристроїв.

Положення, що виносяться на захист:

- метод визначення раціональних геометричних співвідношень елементів магнітних систем, що дає можливість максимально використати енергію поля постійних магнітів;
- метод дослідження силових характеристик магнітних систем ловильних пристроїв.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- удосконалено модель процесу уловлювання феромагнітних предметів у тривимірній постановці та з урахуванням нелінійних властивостей матеріалів;
- вперше встановлено механізм взаємодії ексцентрично розміщеної кільцевої магнітної системи з корпусом, що дає можливість визначати раціональні геометричні розміри елементів системи для заданих силових параметрів;
- вперше створено математичні моделі магнітних ловильних пристроїв, що описують їх технічний рівень за показником питомої вантажопідіймальної сили.

Практичне значення одержаних результатів:

- удосконалено методика розрахунку магнітних систем, що дає

можливість одержати раціональні геометричні розміри елементів систем:

- запропоновано метод експериментальних досліджень магнітних систем з метою визначення їх тягових характеристик;

- розроблено конструкцію броньової магнітної системи на основі постійних магнітів із рідкісноземельних матеріалів, в якій шляхом зменшення розсіювання магнітних потоків забезпечуються високі силові характеристики (патент № 99790);

- запропоновано конструкцію пристрою з рухомою магнітною системою, що значно підвищує ефективність вилучення видовжених металевих предметів (патент № 100087);

- проведено кваліметричний аналіз магнітних ловильних пристроїв, який дає змогу оцінити технічний рівень пристроїв на стадії розроблення і випробування дослідного зразка, прийняти обґрунтовані рішення щодо перспективної конкурентоспроможності;

- розроблено конструкції пристроїв 9-ти типорозмірів із нерухомими та рухомими магнітними системами, які за основним показником призначення – вантажопідіймальною силою в 1,5-6 разів перевищують відомі аналоги;

- проведено дослідно-промислово випробування розроблених пристроїв на підприємствах: ТОВ "Бурінтехсервіс", LOTOS Geonafra (Литва), ГПУ "Полтавагазвидобування", ДП "Полтавське управління геофізичних робіт", які підтвердили ефективність їх роботи під час очищення свердловин від металевих предметів;

- результати роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі "Нафтогазового обладнання" ІФНТУНГ (м. Івано-Франківськ) під час проведення лабораторних занять із дисципліни "Машини та обладнання для видобутку нафти і газу", а також у підготовці спеціалістів та магістрів.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати, що наведені в дисертації, одержані автором особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: встановленні визначального впливу на силові та магнітні характеристики магнітних систем геометричних співвідношень елементів систем та матеріалу постійних магнітів [1, 8]; участь у розробленні фрезера-уловлювача з рухомою магнітною системою та магнітного уловлювача [2, 6, 7]; аналіз властивостей сучасних магнітотвердих матеріалів та обґрунтування доцільності використання в системах ловильних пристроїв магнітів із рідкісноземельних матеріалів [3]; аналіз результатів дослідно-промислових випробувань пристроїв ПМЛ та ФУМ [4]; удосконалення методу визначення тягової характеристики магнітних систем та проведення експериментальних досліджень [5]; встановлення раціональних геометричних розмірів магнітних систем [9]; удосконалення магнітної системи ловильного пристрою з високими силовими та магнітними характеристиками [10].

Апробація роботи. Основні положення роботи доповідались та обговорювались на: XIII Міжнародній конференції "Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления

и применения" (с.м.т. Морське, 2010), XIV Міжнародній конференції "Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения" (с.м.т. Морське, 2011), Міжнародній науково-технічній конференції "Нафтогазова енергетика – 2011" (м. Івано-Франківськ, 2011), Міжнародній науково-практичній конференції "Стан, проблеми та перспективи нафтогазової промисловості України" (м. Борислав, 2012), Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів "Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії – 2012" (м. Івано-Франківськ, 2012), XVI Міжнародній конференції "Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения" (с.м.т. Морське, 2013), Міжнародній науково-технічній конференції "Нафтогазова енергетика – 2013" (м. Івано-Франківськ, 2013).

Публікації. За результатами дослідження по темі дисертації опубліковано 10 друкованих праць, з яких 5 статей у фахових виданнях (одна одноосібна та одна зарубіжна стаття, що входить до наукометричної бази даних SCOPUS), 3 – у матеріалах конференцій, 2 патенти України на винаходи.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який містить 114 найменувань, додатків. Основна частина дисертаційної роботи викладена на 144 сторінках і містить 69 рисунків та 10 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 168 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і основні завдання дисертаційної роботи, розкрито зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, викладено новизну і практичне значення досліджень, особистий внесок здобувача, апробацію роботи, її структуру та обсяг.

У **першому розділі** проведено аналіз стану вибою та аварійності під час спорудження і ремонту нафтогазових свердловин, який підтвердив проблему їх очищення від феромагнітних предметів.

На основі аналізу аварійності встановлено, що майже 20 % усіх видів аварій під час буріння та 30 % під час ремонту експлуатаційних свердловин зумовлюють залишення на вибоях металевих предметів. Окрім того, практично в усіх свердловинах наявний технологічний осад чи зруйновані елементи бурового інструменту. Тому, одним із важливих чинників підвищення техніко-економічних показників поглиблення свердловин і зниження аварійності є систематичне очищення вибоїв від шламу та металу.

Встановлено, що для вилучення із свердловин феромагнітних уламків найефективнішими є пристрої на основі постійних магнітів. Розробленням конструкцій та дослідженням характеристик магнітних ловильних пристроїв присвячено праці таких науковців: Акопова Е. А., Аношкіна А. П., Гаврася

В. А., Гасанова А. П., Гусмана А. М., Кобилянського М. Т., Курнікова Ю. О., Мязітова К. У., Пустовойтенка І. П., Романишина Л. І., Серенка І. А., Червінського В. П. та інших. Проведений аналіз відомих конструкцій магнітних пристроїв виявив їх загальні недоліки: невисока вантажопідіймальна сила, схильність до саморозмагнічування пристроїв з литими магнітами, швидке зношення робочої поверхні магнітної системи, низька надійність утримання видовжених предметів, розсіювання магнітного поля в зазорах між корпусом і системою. За останній час розроблено висококоерцитивні магнітотверді матеріали зі значно вищими магнітними властивостями. Відомо, що використання нових магнітних матеріалів призводить до зміни конструкцій магнітних систем. Отже, важливим є завдання вдосконалення свердловинних ловильних пристроїв на основі постійних магнітів із рідкісноземельних матеріалів і дослідження їх характеристик.

Другий розділ присвячено теоретичним основам створення магнітних систем ловильних пристроїв.

На основі аналізу умов експлуатації та чинників, що впливають на процес уловлення металевих предметів, встановлено вимоги до конструкцій магнітних ловильних пристроїв. Магнітні системи повинні володіти максимально можливою вантажопідіймальною силою. Для ефективного уловлення феромагнітних предметів необхідно досягнути їх безпосереднього контакту з робочою поверхнею системи. Під час ловильних робіт у свердловинах на магнітні пристрої здійснюють вплив експлуатаційні чинники. Тому магнітні системи пристроїв повинні бути стійкі до дії агресивних промивальних рідин, високих температур, ударів, вібрацій, зовнішніх розмагнічуючих магнітних полів. Також ловильні пристрої мають володіти достатньою механічною міцністю і стійкістю до дії статичних і динамічних навантажень.

Визначено, що основними критеріями ефективності ловильних пристроїв є загальна і питома вантажопідіймальна сила. Для оцінки експлуатаційних можливостей систем запропоновано силовий критерій k_t , який за рахунок співвідношень досягнутих і граничних значень загальної та питомої вантажопідіймальної сили дає змогу об'єктивно оцінювати досконалість магнітних пристроїв:

$$k_t = k_i \cdot k_n, \quad (1)$$

де k_i – коефіцієнт загальної вантажопідіймальної сили;

k_n – коефіцієнт питомої вантажопідіймальної сили.

$$k_i = \frac{F}{F_m}, \quad (2)$$

де F – умовна вантажопідіймальна сила, Н;

F_m – теоретично досяжна вантажопідіймальна сила, Н.

$$k_n = \frac{F_n}{F_{nm}}, \quad (3)$$

де F_n – питома на одиницю площі вантажопідіймальна сила, Н/мм²;
 $F_{nm} = 1,79-1,98$ Н/мм² – теоретично досяжна питома вантажопідіймальна сила.

Теоретичні значення загальної F_m та питомої F_{nm} вантажопідіймальної сили визначаються за формулою Максвелла, яка, після підставлення $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ та виражаючи S , в мм² набуде вигляду:

$$F_m = 0,406 B_v^2 S, \quad (4)$$

$$F_{nm} = 0,406 B_v^2, \quad (5)$$

де $B_v = 2,14$ Тл – максимальна магнітна індукція для магнітом'якого заліза;

S – загальна площа робочої поверхні магнітної системи, мм².

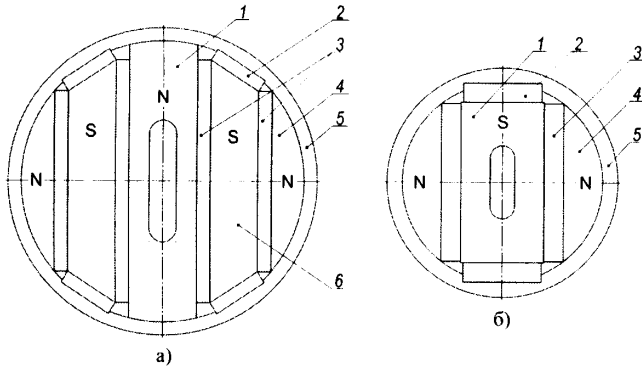
На ефективність пристроїв на основі постійних магнітів впливає конструкція магнітної системи та використані в ній матеріали. У результаті аналізу властивостей магнітотвердих матеріалів встановлено, що рідкісноземельні неодимові магніти хімічного складу Nd₂Fe₁₄B найпридатніші для використання в магнітних системах ловильних пристроїв. Завдяки високій залишковій магнітній індукції, коерцитивній силі та енергетичному добутку, неодимові магніти дають змогу суттєво зменшити габарити існуючих магнітних систем і створити компактніші ловильні пристрої з раціональною площею полюсів магнітів. У виборі марки магнітів для конкретних умов експлуатації ловильних пристроїв потрібно враховувати максимальну робочу температуру, яка для неодимових магнітів становить від 80 °С до 200 °С.

На основі аналізу конструкцій магнітних систем підтверджено, що найприйнятнішими для використання в ловильних пристроях є броньові системи з паралельним з'єднанням постійних магнітів. Мінімальне розсіювання магнітного поля та можливість трансформації магнітної індукції – основні переваги даних систем, що забезпечують високі силові і магнітні параметри ловильних пристроїв. Проведений аналіз дав можливість встановити раціональні конструктивні схеми магнітних систем на основі постійних магнітів із рідкісноземельних матеріалів. Так, у пристроях діаметром до 195 мм доцільно використовувати броньові системи з центральним магнітопроводом у вигляді трикутної або прямокутної призми. З метою запобігання розсіювання магнітного поля між периферійними магнітопроводами та корпусом усі системи запропоновано розміщувати у феромагнітній обоймі.

Основним недоліком магнітних систем, що використовуються у пристроях діаметром понад 195 мм, є складність насичення габаритного центрального магнітопроводу. Реальний шлях підвищення ефективності магнітних систем великого діаметра – збільшення кількості магнітопроводів, тобто створення багатополюсних систем. Така конструкція дасть можливість одержати максимальну індукцію на робочій поверхні магнітопроводів.

Розроблено багатополюсну систему (рис. 1, а), що містить

центрального, проміжні та сегментні магнітопроводи різноїменної полярності, між якими розміщені рідкісноземельні постійні магніти. Для ефективного використання магнітної енергії, запобігання розсіювання магнітного поля між боковими поверхнями проміжних магнітопроводів і обоймою розміщені допоміжні постійні магніти. Вони виконують роль екрана магнітного поля та дають можливість досягнути більш рівномірного розподілу магнітної індукції в магнітопроводах. Обойма містить пази для фіксації допоміжних магнітів, виготовляється із низьковуглецевої сталі та здійснює функцію додаткового магнітопроводу. Для ловильних пристроїв невеликого діаметра розроблено подібну конструкцію магнітної системи з допоміжними магнітами (рис. 1, б).



а – система діаметром понад 150 мм; б – система діаметром до 150 мм.
 1 – центральний магнітопровід; 2 – допоміжний магніт; 3 – постійні магніти;
 4 – сегментний магнітопровід; 5 – обойма; 6 – проміжний магнітопровід

Рисунок 1 – Магнітні системи з допоміжними магнітами

Встановлено, що конструкції магнітних систем броньового типу з висококоерцитивними рідкісноземельними магнітами дають можливість одержати високі силові і магнітні параметри ловильних пристроїв. Удосконалено конструктивні схеми магнітних систем діаметром до 150 мм та розроблено принципово нові конструкції броньових багатополюсних систем з допоміжними магнітами, що зводять до мінімуму розсіювання магнітного поля.

У третьому розділі визначено раціональні геометричні співвідношення елементів систем на основі моделювання систем із неодимових рідкісноземельних магнітів. Досліджено вплив високих температур на силові характеристики систем із неодимовими магнітами різної температурної стабільності.

На основі аналізу існуючих методів розрахунку магнітних полів зроблено висновок, що найдоцільнішим для проектування і дослідження магнітних систем ловильних пристроїв є метод скінченних елементів,

оскільки він дає можливість розраховувати магнітні поля для об'єктів зі складною геометрією та нелінійними властивостями матеріалів.

Магнітні системи ловильних пристроїв складаються з постійних магнітів і магнітопроводів, що трансформують і направляють магнітний потік у робочу ділянку пристрою. Одержати максимальну підймальну силу магнітної системи можливо у випадку насичення магнітопроводів, тобто, створення постійними магнітами потоку більшого за пропускну здатність магнітопроводів. Тому, важливим завданням є встановлення раціональних співвідношень розмірів постійних магнітів і магнітопроводів, які з одного боку забезпечать високі силові характеристики пристроїв, з іншого – максимальне використання енергії постійних магнітів.

Теоретичні дослідження раціональних геометричних співвідношень елементів магнітних систем проведено шляхом побудови їх тривимірних моделей та подальшого розрахунку методом скінченних елементів у середовищі програми ANSYS Maxwell 16.0.

Для встановлення раціональної довжини постійних магнітів вирішено завдання знаходження сили, яка діє на феромагнітну плиту для зазору, заданого параметрично. Аналіз тягових характеристик (рис. 2) дав змогу встановити, що максимальні значення вантажопідйальної сили для систем діаметром 150 мм з різною довжиною магнітів практично однакові. Зі збільшенням робочого зазору сила зменшується повільніше в системах із магнітами довжиною 10 мм та 12 мм. Обґрунтовано вибір довжини магнітів 10 мм, оскільки при цьому забезпечується умова рівності площ полюсів.

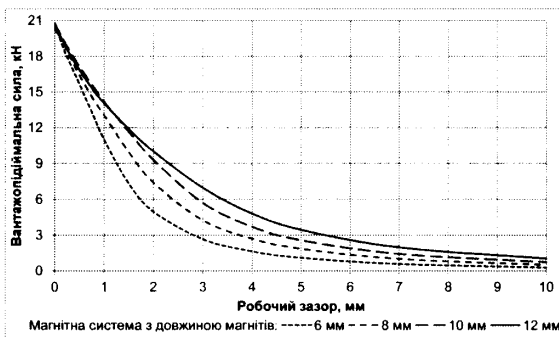


Рисунок 2 – Тягові характеристики систем діаметром 150 мм із магнітами різної довжини

Визначено раціональну висоту магнітної системи, за якої максимально використовується енергія постійних магнітів. Для цього проведено дослідження вантажопідйальної сили систем висотою від 40 мм до 120 мм. Встановлено, що зі збільшенням висоти системи зростає вантажопідйальна сила (рис. 3). Але після досягнення висоти системи 80 мм подальший приріст сили складає всього 1-2 % на кожні 10 мм висоти у зв'язку з насиченням

магнітопроводів. Таким чином, високі силові характеристики системи діаметром 150 мм можна одержати в діапазоні висот від 70 мм до 90 мм, а збільшення розмірів системи призводить до необґрунтованої витрати матеріалів.

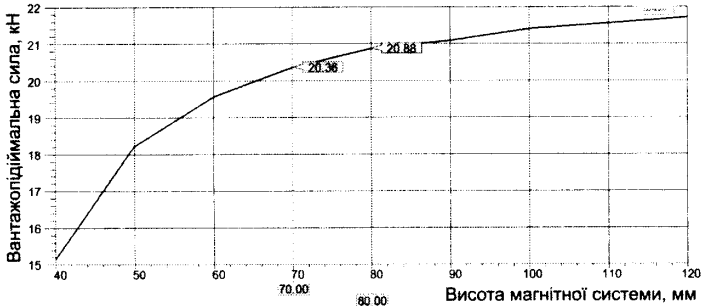


Рисунок 3 – Залежність вантажопідіймальної сили від висоти магнітної системи діаметром 150 мм

Аналогічно встановлено раціональні розміри магнітних систем решти діаметрів. Розроблені системи на основі рідкісноземельних неодимових магнітів діаметрами від 73 мм до 225 мм володіють високою умовною вантажопідіймальною силою від 4,1 кН до 44,2 кН. Середні значення питомої вантажопідіймальної сили наближаються до теоретичного, що становить $1,86 \text{ Н/мм}^2$. За встановленим раніше силовим критерієм проєктовані системи у три рази перевершують відомі аналоги з ферито-барієвими магнітами.

З метою встановлення ділянок з максимальною густиною магнітного поля, а також розсіювання магнітних потоків проведено розрахунок системи діаметром 150 мм без феромагнітної плити і з нею. Аналізуючи результати (рис. 4) встановлено, що максимуми магнітної індукції спостерігаються на ребрах і вершинах магнітопроводів, що пояснюється найбільшою густиною силових ліній у цих ділянках. Відповідно і уловлювані предмети будуть розташовуватися в цих ділянках, залишаючи вільним промивальний отвір. Розподіл магнітної індукції однаковий на робочій та неробочій поверхнях магнітної системи.

За наявності феромагнітної плити (рис. 5) відбувається перерозподіл магнітного поля в магнітопроводах, внаслідок чого індукція на робочій поверхні системи досягає значення 2,1 Тл, тобто магнітопроводи у нижній частині перебувають у стані, близькому до насичення.

Для підвищення надійності вилучення із свердловин видовжених феромагнітних уламків передбачено осьове переміщення основної уловлювальної системи, яка фіксується допоміжною системою (рис. 6) у будь-якому положенні в корпусі. У результаті моделювання процесу взаємодії допоміжної системи з корпусом визначено раціональні співвідно-

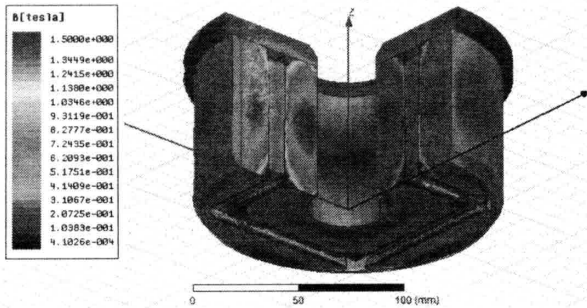


Рисунок 4 – Розподіл магнітної індукції в системі без феромагнітної плити

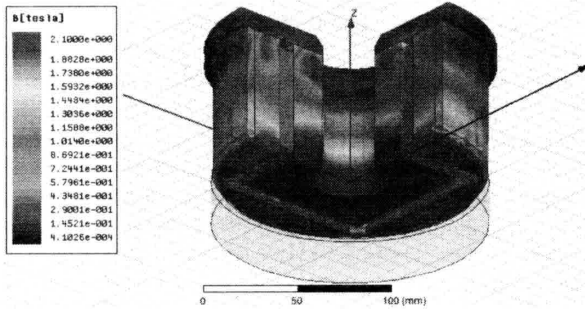
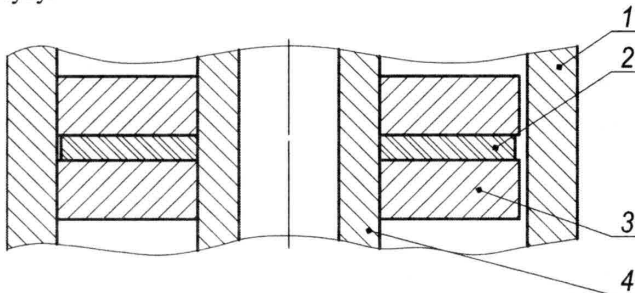


Рисунок 5 – Розподіл магнітної індукції в системі з феромагнітною плитою

шення кільцевих елементів систем, за яких досягається необхідне зусилля переміщення. Розроблена методика дає можливість встановити розміри ексцентрично розміщеної в корпусі допоміжної системи для будь-якого зусилля зсуву.



1 – корпус; 2 – постійний магніт; 3 – магнітопровід; 4 – немагнітний патрубок
Рисунок 6 – Схема допоміжної системи

Ексцентричне розміщення допоміжної системи в корпусі призводить до нерівномірного розподілу магнітного поля. Вивчення механізму взаємодії магнітного поля з корпусом проведено на побудованій моделі системи діаметром 110 мм. На основі аналізу розподілу магнітної індукції (рис. 7) виявлено нерівномірне насичення корпусу магнітними силовими лініями та ділянки зі значним градієнтом магнітного поля.

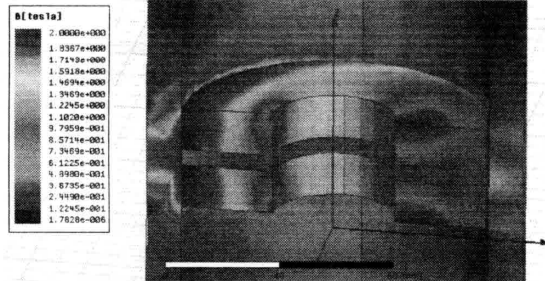


Рисунок 7 – Розподіл магнітної індукції в корпусі та допоміжній системі

Досліджено вплив високих температур на силові характеристики систем із неодимовими магнітами різної температурної стабільності. Встановлено, що сила притягання магнітних систем ловильних пристроїв зменшується до 5 % із досягненням робочої температури магнітів. Це досить прийнятний показник, враховуючи той факт, що після повернення до початкових умов підймальна сила повернеться до максимального значення. При нагріванні до 120 °С систем на основі магнітів з робочою температурою 80 °С сила зменшується на 12 %, а з досягненням 150 °С – на 18 % (рис. 8). З метою запобігання незворотних втрат магнітних властивостей рекомендовано в магнітних системах ловильних пристроїв застосовувати магніти з робочою температурою не меншою від температури на вибої свердловини.

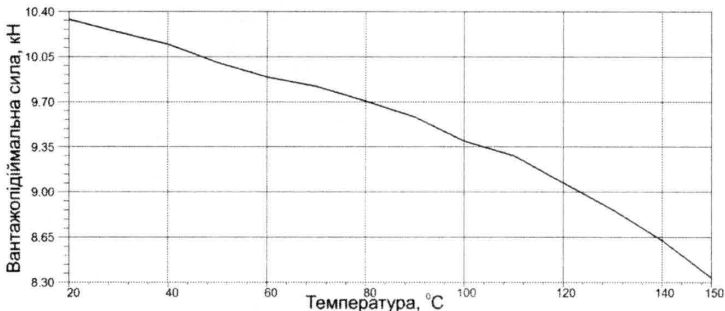
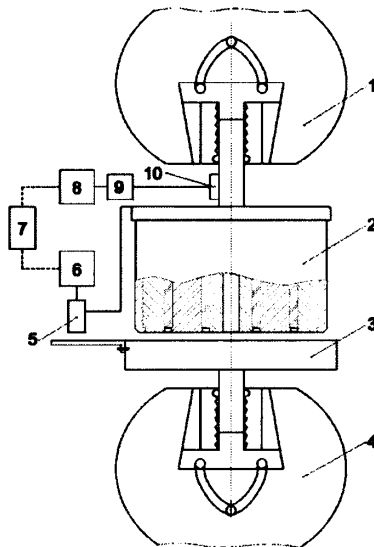


Рисунок 8 – Залежність сили притягання від температури для постійних магнітів марки N38

У четвертому розділі наведено методику і результати експериментальних досліджень розроблених магнітних систем.

Основною силовою характеристикою магнітних систем ловильних пристроїв є умовна вантажопідіймальна сила, за якою визначають середнє значення питомої вантажопідіймальної сили і технічний рівень ловильних пристроїв. Встановлено, що найпоширеніший метод визначення вантажопідіймальної сили здійснюється за допомогою розривної машини. Для одержання тягових характеристик робочий зазор регулюється немагнітними прокладками, що вимагає додаткових витрат часу і володіє недостатньою точністю.

Нами запропоновано новий метод визначення тягових характеристик. Рух магнітної системи за допомогою стержня забезпечує верхній захоплювач розривної машини (рис. 9). Давач переміщення генерує аналоговий сигнал, пропорційний відстані між робочою поверхнею магнітної системи і зафіксованою плитою. Синхронно з реєстрацією сигналу давача переміщення реєструється сигнал тензодавача, встановленого на стержні кріплення магнітної системи до захоплювача розривної машини. Сигнали з давачів після нормуючих підсилювачів надходять на мікропроцесорний модуль аналогово-цифрового перетворювача для попереднього опрацювання, реєстрації і накопичення вимірювальної інформації упродовж експерименту.



- 1 – верхній захоплювач; 2 – магнітна система; 3 – випробувальна плита;
 4 – нижній захоплювач; 5 – давач переміщення з вбудованим нормуючим підсилювачем; 6, 8 – мікропроцесорний модуль АЦП; 7 – ЕОМ;
 9 – нормуючий підсилювач; 10 – тензодавач

Рисунок 9 – Схема визначення тягових характеристик магнітних систем

Після закінчення експерименту дані з мікропроцесорного модуля передаються на ЕОМ та опрацьовуються з метою побудови тягових характеристик.

У результаті випробувань за допомогою атестованої універсальної розривної машини УММ-20 одержано тягові характеристики усіх типорозмірів розроблених магнітних систем. Аналіз кривих дає підстави стверджувати, що всі вони мають подібний характер – різке зниження вантажопідіймальної сили зі збільшенням робочого зазору (рис. 10). Це дає змогу віднести розроблені магнітні системи до класу утримувальних, тобто таких, що працюють на утримання феромагнітних предметів.

Для підтвердження результатів теоретичних досліджень з визначення раціональної висоти магнітної системи виготовлено три зразки систем діаметром 150 мм та висотою 40 мм, 70 мм і 110 мм. У результаті експериментів одержано криві (рис. 11), що засвідчують загальну тенденцію: зі збільшенням висоти системи зростає вантажопідіймальна сила, а тягова характеристика стає пологішою. Встановлено, що магнітні системи діаметром 150 мм висотою 70 мм є раціональними за умови максимального використання енергії магнітного поля, а також економії матеріалів.

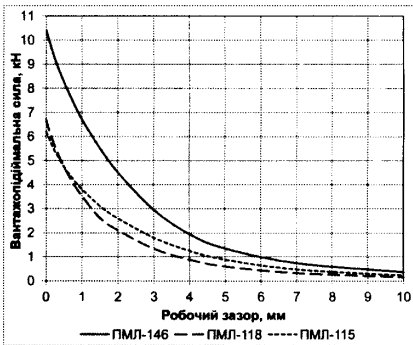


Рисунок 10 – Тягові характеристики магнітних систем пристроїв ПМЛ-115, ПМЛ-118 та ПМЛ-138

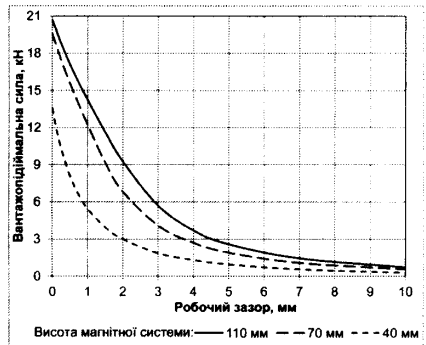


Рисунок 11 – Тягові характеристики магнітних систем діаметром 150 мм різної висоти

На основі аналізу результатів теоретичних і експериментальних досліджень тягових характеристик розроблених магнітних систем пристроїв діаметром від 88 мм до 270 мм встановлено, що відмінність між ними складає 6-8 %, що свідчить про коректність методу розрахунку та правильний вибір методики проведення експерименту.

З метою дослідження питомої вантажопідіймальної сили та підвищення точності її вимірювання розроблено стенд. Особливістю стенду є можливість переміщення та обертання магнітної системи, що дає змогу вимірювати питому силу в будь-якій точці системи. За результатами відриву від робочих поверхонь магнітних систем різної висоти діаметром 150 мм дослідного зразка зі сталі 10 з площею контакту 1 см^2 визначено, що аналогічно з умовною вантажопідіймальною силою, питома також зростає на 7-15 % зі збільшенням висоти системи і набуває максимального значення на висоті 110 мм.

Досліджено вплив матеріалу уловлюваних предметів на силові характеристики систем. Встановлено зменшення питомої вантажопідіймальної сили під час відриву зразків зі сталі 36Г2С та 14ХНЗМА відповідно на 9-10 % та 20-22% порівняно зі зразком зі сталі 10.

За результатами стендових випробувань визначено зусилля, які необхідно прикласти для переміщення магнітних систем фрезерів-уловлювачів діаметрами 112 мм та 136 мм – відповідно 720 Н та 910 Н. Варто зазначити, що значення одержані для конкретних конструкцій допоміжних систем, які містять один магніт складу неодим-залізо-бор і два магнітопроводи кільцевої форми з раціональними співвідношеннями геометричних розмірів, визначених на основі теоретичних досліджень.

Досліджено розподіл магнітної індукції на поверхні систем та в робочому зазорі з метою встановлення ділянок з найбільшою густиною магнітного поля. Встановлено, що максимальні значення магнітної індукції (до 1,3 Тл) на поверхні системи діаметром 225 мм досягаються на ребрах і вершинах магнітопроводів (рис. 12), де найбільша густина силових ліній. Криві індукції за зазору 2 мм мають пологий характер, а пікові значення в 2-3 рази нижчі за максимальні. За зазору 10 мм спостерігається практично рівномірний розподіл індукції з доволі низькими значеннями 0,1-0,2 Тл по всій робочій поверхні.

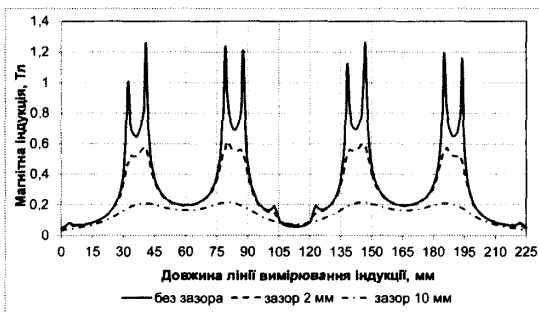


Рисунок 12 – Характер розподілу магнітної індукції в робочих зазорах системи діаметром 225 мм

Дослідження розподілу індукції на поверхнях систем складених на основі постійних рідкісноземельних і феритових магнітів показали, що середнє значення індукції в 3-3,5 рази вище у випадку використання рідкісноземельних магнітів, хоч сам характер розподілу магнітної індукції залишається незмінним (рис. 13). Це пояснюється істотно вищими характеристиками рідкісноземельних магнітів.

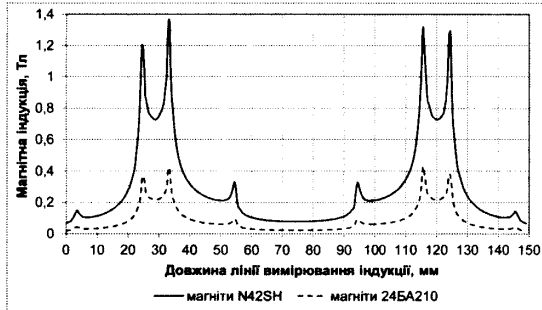


Рисунок 13 – Характер розподілу магнітної індукції на робочій поверхні систем з прямокутним центральним магнітопроводом

Експериментальні дослідження силових і магнітних характеристик розроблених магнітних систем підтвердили результати теоретичних досліджень і коректність запропонованого методу розрахунку (розбіжність не перевищує 15%).

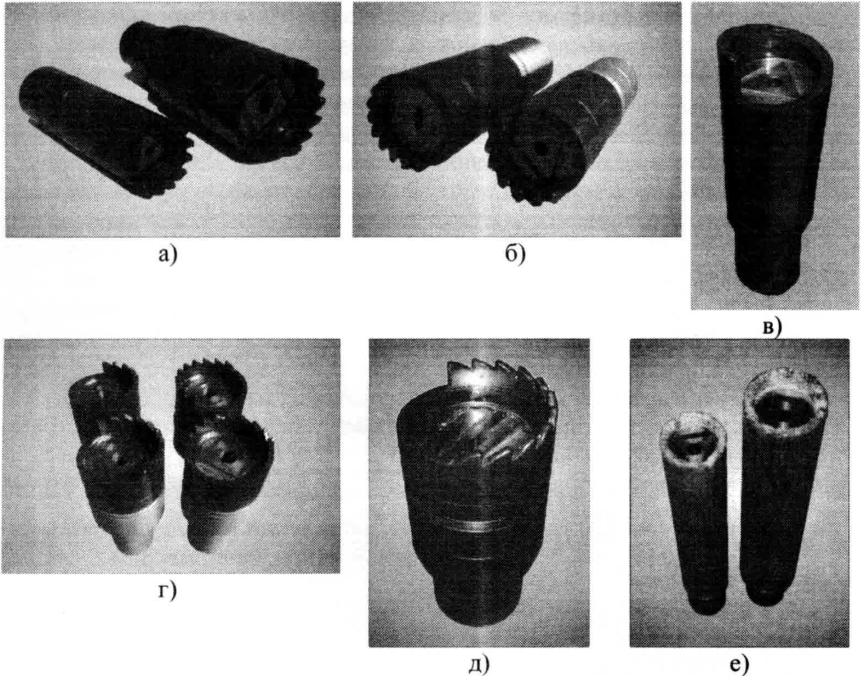
У п'ятому розділі наведено конструкції розроблених пристроїв на основі постійних магнітів та результати промислових випробувань.

Розроблено пристрої магнітні ловильні (ПМЛ) із зовнішніми діаметрами 88 мм, 103 мм, 115 мм, 118 мм, 146 мм, 195 мм та 270 мм (рис. 14) на основі вдосконалених магнітних систем броньового типу із рідкісноземельними магнітами складу неодим-залізо-бор. Рациональні геометричні співвідношення розмірів магнітів і магнітопроводів визначено шляхом комп'ютерного моделювання для кожного типорозміру ловильного пристрою.

У пристроях діаметрами від 88 мм до 195 мм використано системи з одним центральним магнітопроводом у вигляді прямої призми: трикутної – ПМЛ-88, ПМЛ-103, ПМЛ-115, прямокутної – ПМЛ-118, ПМЛ-146, ПМЛ-195. Для свердловин з великим умовним діаметром вперше розроблено пристрій ПМЛ-270 з багатополусною системою.

Суттєвими відмінностями розроблених пристроїв ПМЛ від аналогів є:

- принципово нові конструкції магнітних систем пристроїв ПМЛ-118, ПМЛ-270;
- раціональне співвідношення геометричних розмірів елементів систем на основі рідкісноземельних неодимових магнітів;



а – ПМЛ-88 та ПМЛ-146; б – ПМЛ-118 та ПМЛ-103; в – ПМЛ-115;
г – ПМЛ-195; д – ПМЛ-270; е – ФУМ-112 та ФУМ-136

Рисунок 14 – Магнітні ловильні пристрої типу ПМЛ і ФУМ

- здатність магнітних систем пристроїв усіх типорозмірів залишатися нерухомими під час ловильних робіт, що запобігає зношенню їх робочих поверхонь.

Також розроблено пристрої з рухомою магнітною системою типу ФУМ зовнішніми діаметрами 112 мм та 136 мм (рис. 14, е). Основна магнітна система має можливість осевого переміщення в корпусі під дією уловлюваного предмета, чим збільшується робоча ділянка пристрою та забезпечується повне очищення вибою свердловини від феромагнітних уламків. Суттєвою відмінністю пристроїв ФУМ від аналогічних є магнітний спосіб фіксації основної системи у робочому положенні.

На основі аналізу характеристик розроблених, вітчизняних і закордонних магнітних ловильних пристроїв встановлено, що пристрої ПМЛ та ФУМ за вантажопідіймальною силою в 4-6 разів перевищують аналоги з литими, в 2 рази – з феритовими і в 1,5 рази – із рідкісноземельними магнітами.

З метою оцінки технічного рівня розроблених пристроїв проведено кваліметричний аналіз 185 моделей магнітних ловильних пристроїв, що

виготовляються 15 компаніями шести країн світу. У результаті одержано математичні моделі середньостатистичного (6) та сучасного світового рівня (7):

$$\frac{4F}{\pi D^2} = 0,0835 \cdot D^{0,1818}, \quad (6)$$

$$\frac{4F}{\pi D^2} = 0,348 \cdot D^{-0,01}, \quad (7)$$

де F – умовна вантажопідіймальна сила, кН;

D – зовнішній діаметр, мм.

Значення питомої вантажопідіймальної сили розроблених пристроїв ПМЛ та ФУМ значно перевищують як середньостатистичний, так і сучасний світовий технічні рівні (рис. 15), що свідчить про їх досконалість і конкурентоздатність на світовому ринку.

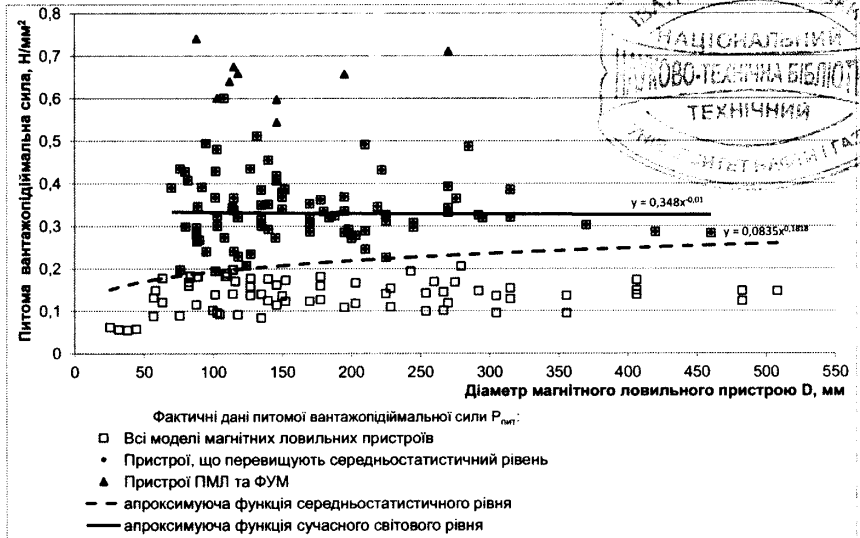


Рисунок 15 – Залежність питомої вантажопідіймальної сили магнітних ловильних пристроїв від зовнішнього діаметра

Дослідно-промислові випробування розроблених на основі постійних рідкісноземельних магнітів ловильних пристроїв типу ПМЛ та ФУМ на бурових, нафтогазовидобувних і геофізичних підприємствах України і Литви підтвердили результати теоретичних та експериментальних досліджень, ефективність роботи під час очищення свердловин від феромагнітних предметів різної форми і маси та здатність уловлювати твердосплавні елементи, стабільність магнітних і силових параметрів у складних умовах експлуатації, а також значну перевагу перед аналогічними пристроями на основі феритових магнітів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливе науково-практичне завдання, яке полягає у підвищенні ефективності очищення вибоїв свердловин від феромагнітних предметів пристроями на основі постійних магнітів із рідкісноземельних матеріалів. Результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виконані автором, дають можливість зробити наступні висновки:

1. Проведений аналіз стану вибою під час спорудження та ремонту свердловин вказує на наявність металевих предметів різної форми та походження, що знижує техніко-економічні показники поглиблення свердловин і є причиною аварій з породоруйнівним інструментом. Ефективним способом вилучення із свердловин аварійних предметів без їх попереднього руйнування є використання пристроїв на основі постійних магнітів.

2. Обґрунтовано вибір рідкісноземельних магнітотвердих матеріалів як таких, що володіють найвищими характеристиками серед відомих постійних магнітів і найбільш повно задовольняють вимоги до систем ловильних пристроїв. Розроблено конструкції броньових магнітних систем на основі висококоерцитивних неодимових магнітів.

3. За результатами тривимірного моделювання встановлено раціональні співвідношення геометричних розмірів елементів магнітних систем, що дало можливість одержати високі силові параметри ловильних пристроїв. Запропоновано силовий критерій для оцінки ефективності магнітних систем, за яким розроблені системи в три рази переважають відомі аналоги на ферито-барієвих магнітах. Теоретично встановлено можливість ефективного використання розроблених пристроїв у свердловинах за температури до 150 °С.

4. Удосконалено метод дослідження магнітних систем, що дав можливість визначити їх тягові характеристики, а також може використовуватися для дослідження різних конструкцій систем ловильних пристроїв. Одержані результати експериментальних досліджень (розподіли магнітної індукції та тягові характеристики) підтвердили теоретичні розрахунки і достовірність рекомендацій для проектування магнітних систем з високими силовими та магнітними характеристиками.

5. Розроблено конструкції магнітних пристроїв дев'яти типорозмірів, що володіють в 1,5-6 разів вищою вантажопідіймальною силою, ніж відомі аналоги. Шляхом втілення нових технічних рішень, а саме запобігання повертання магнітної системи (патент № 99790) та магнітному способу фіксації системи у будь-якому положенні в корпусі (патент № 100087) вдалося підвищити ресурс роботи розроблених пристроїв. Кваліметричний аналіз серійних моделей магнітних ловильних пристроїв світових виробників підтвердив високий технічний рівень створених пристроїв ПМЛ та ФУМ. Дослідно-промислові випробування розроблених ловильних пристроїв типу

ПМЛ та ФУМ на бурових, нафтогазопромислових та геофізичних підприємствах України і Литви підтвердили високу ефективність під час ліквідації аварій, пов'язаних із залишенням на вибої феромагнітних предметів. Прогнозований економічний ефект від проведення аварійно-відновлювальних робіт розробленими пристроями становить приблизно 1,3 млн. грн.

Список опублікованих праць за темою дисертації Статті у наукових фахових виданнях

1. Романишин Л. І. Дослідження впливу конструктивних чинників на ефективність роботи магнітних ловильних пристроїв / Л. І. Романишин, Т. Л. Романишин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. — К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2010. — Вип. 13. — С. 66-71.
2. Романишин Л. І. Розроблення фрезера-уловлювача з рухомою магнітною системою / Л. І. Романишин, Т. Л. Романишин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. — К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2011. — Вип. 14. — С. 125-129.
3. Романишин Т. Л. Обґрунтування вибору матеріалів постійних магнітів для ловильних пристроїв / Т. Л. Романишин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. – № 1. С. 143-152.
4. Романишин Л. І. Дослідно-промислові випробування магнітних ловильних пристроїв / Л. І. Романишин, В. В. Гладун, Т. Л. Романишин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. — К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2013. — Вип. 16. — С. 160-164.
5. Экспериментальные исследования характеристик магнитных систем ловильных устройств / Е. И. Крыжановский, П. Н. Райгер, Л. И. Романишин, Т. Л. Романишин // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 7. – С. 104-106.

Патенти

6. Пат. 100087 Україна, МПК E21B 31/06. Фрезер-уловлювач з рухомою магнітною системою / Л. І. Романишин, Т. Л. Романишин, І. С. Атаманчук, Є. В. Діброва, Я. С. Білецький, М. С. Білецький; заявник і патентовласник Л. І. Романишин, Т. Л. Романишин, І. С. Атаманчук, Є. В. Діброва, Я. С. Білецький, М. С. Білецький. – № a2011 08838; заявл. 14.07.2011; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21. – 5 с.
7. Пат. 99790 Україна, МПК E21B 31/06. Уловлювач магнітний / Є. І. Крижанівський, Л. І. Романишин, Т. Л. Романишин; заявник і патентовласник Є. І. Крижанівський, Л. І. Романишин, Т. Л. Романишин. – №a2011 09349; заявл. 26.07.2011; опубл. 25.09.2012, Бюл. № 18. – 6 с.

Матеріали конференцій

8. Романишин Т. Л. Дослідження магнітних характеристик систем ловильних пристроїв / Т. Л. Романишин // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії - 2012», 5-7 листопада 2012 р. : Тези доповідей. – Івано-Франківськ. – 2012. – С. 224-227.

9. Романишин Т. Л. Обґрунтування вибору раціональних конструкцій магнітних систем ловильних пристроїв / Т. Л. Романишин // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова енергетика 2013», 7-11 жовтня 2013 р. : Тези доповідей. – Івано-Франківськ. – 2013. – С. 89-92.

10. Романишин Л. І. Вдосконалення магнітної системи фрезера-удловювача невеликого діаметра / Л. І. Романишин, Т. Л. Романишин // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Стан, проблеми та перспективи нафтогазової промисловості України», 7-9 вересня 2012 р. : Збірник тез доповідей. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – С. 28-29.

АНОТАЦІЯ

Романишин Т. Л. Підвищення ефективності очищення вибоїв нафтогазових свердловин пристроями на основі постійних магнітів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – машини нафтової та газової промисловості. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2015.

У роботі проведено аналіз стану вибоїв та аварійності у процесі спорудження і ремонту свердловин, аналіз існуючих конструкцій магнітних ловильних пристроїв. Встановлено вимоги до магнітних систем пристроїв та визначено основні критерії їх ефективності. Розроблено нові конструкції магнітних систем броньового типу на основі рідкісноземельних неодимових магнітів.

Досліджено за допомогою методу скінченних елементів процес перерозподілу магнітних потоків у взаємодії магнітної системи з феромагнітним предметом. Встановлено раціональні геометричні розміри елементів систем з мінімальними потоками розсіювання та досліджено вплив високих температур на силові характеристики систем.

Експериментально підтверджено достовірність теоретичних досліджень і методики проектування магнітних систем з високими силовими та магнітними характеристиками. Розроблено конструкції магнітних пристроїв дев'яти типорозмірів і проведено їх дослідно-промислові випробування.

Ключові слова: вибій свердловини, феромагнітний предмет, магнітна система, постійний магніт, рідкісноземельний матеріал, ловильний пристрій, вантажопідіймальна сила.

АННОТАЦИЯ

Романишин Т. Л. Повышение эффективности очистки забоев нефтегазовых скважин устройствами на основе постоянных магнитов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.12 машины нефтяной и газовой промышленности. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. – Ивано-Франковск, 2015.

В результате анализа состояния забоев при бурении обнаружено, что практически во всех скважинах присутствует технологический осадок или разрушенные элементы бурового инструмента. Одним из эффективных способов очистки забоев скважин от постороннего металла является применение магнитных ловильных устройств. В результате анализа существующих конструкций устройств на основе постоянных магнитов осуществлена их классификация по основным признакам и обнаружены их основные недостатки: невысокая грузоподъемная сила, нерациональные конструкции магнитных систем и невысокий ресурс работы.

Учитывая условия эксплуатации и факторы, влияющие на процесс улавливания металлических предметов, установлены требования к магнитным ловильным устройствам, выполнение которых позволит разработать новые конструкции устройств. Определено, что основными показателями эффективности ловильных устройств является общая и удельная грузоподъемная сила, на базе которых предложен силовой критерий, позволяющий в полной мере оценить совершенство разработанных магнитных систем.

В результате анализа свойств магнитотвердых материалов установлено, что редкоземельные неодимовые магниты обладают самыми высокими характеристиками и наиболее подходящие для магнитных систем. Установлено, что использование таких магнитов в конструкциях магнитных систем броневого типа позволит получить высокие параметры ловильных устройств. Учитывая это, усовершенствованы конструктивные схемы магнитных систем диаметром до 150 мм путем введения дополнительного магнитопровода – ферромагнитной обоймы для выравнивания площадей полюсов разноименной полярности, а также разработаны принципиально новые конструкции броневых многополюсных систем с вспомогательными магнитами, сводящие к минимуму рассеивание магнитного поля.

На основе анализа существующих методов расчета магнитных полей установлено, что наиболее применимыми для проектирования магнитных систем являются численные методы, а именно метод конечных элементов, который дает возможность рассчитывать магнитные системы со сложной геометрией и нелинейными свойствами материалов. С помощью программного комплекса ANSYS Maxwell определены оптимальные геометрические размеры элементов систем с минимальными потоками

рассеяния, что позволяет максимально использовать энергию постоянных магнитов. Разработаны магнитные системы на редкоземельных неодимовых магнитах, которые обладают высокими силовыми характеристиками: общей условной и удельной грузоподъемной силой. По предложенному силовому критерию проектируемые системы в три раза превосходят известные аналоги на феррито-бариевых магнитах.

В результате моделирования процесса взаимодействия вспомогательной системы с корпусом определены оптимальные соотношения кольцевых элементов систем, при которых достигается необходимое усилие перемещения. Исследовано влияние высоких температур на силовые характеристики систем на неодимовых магнитах различной температурной стабильности. Установлена возможность эксплуатации разработанных магнитных систем при температуре до 150 °С.

Экспериментальные исследования силовых и магнитных характеристик разработанных магнитных систем подтвердили результаты расчетов (расхождение не превышает 15 %). Разработан лабораторный стенд для определения удельных силовых показателей магнитных систем и предложен новый метод исследования тяговых характеристик с использованием ЭВМ. Анализ тяговых характеристик систем позволил отнести их к классу удерживающих. Экспериментально исследовано влияние материала улавливаемых предметов на усилие притяжения к системе.

Определен характер распределения магнитной индукции на рабочих поверхностях систем различных конструкций, что позволило оценить их совершенство с точки зрения равномерности насыщения магнитопроводов. Системы на редкоземельных магнитах обладают индукцией превышающей в 2-3 раза аналогичные системы на феррито-бариевых магнитах.

Разработаны новые конструкции магнитных ловильных устройств ПМЛ диаметрами 88 мм, 103 мм, 115 мм, 118 мм, 146 мм, 195 мм, 270 мм и устройств ФУМ диаметрами 112 мм, 136 мм, которые по основному показателю назначения – грузоподъемной силе в 1,5-6 раз превышают аналоги из России и США. Новые технические решения на уровне изобретений, реализованы в конструкциях ПМЛ и ФУМ. Способность системы оставаться неподвижной во время вращения корпуса и магнитный способ ее фиксации в любом положении позволили повысить на 30% ресурс работы устройств.

Опытно-промышленные испытания в глубоких нефтегазовых скважинах различного назначения подтвердили высокую эффективность работы устройств во время извлечения различных по форме и массе ферромагнитных предметов.

Ключевые слова: забой скважины, ферромагнитный предмет, магнитная система, постоянный магнит, редкоземельный материал, ловильное устройство, грузоподъемная сила.

ABSTRACT

Romanyshyn T. L. The efficiency enhancement of the oil and gas bottom holes cleaning by means of the permanent magnets devices. – Manuscript.

Scientific thesis for the Degree of Candidate of Engineering Sciences, specialty 05.05.12 – Machines of Oil and Gas Industry. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. – Ivano-Frankivsk, 2015.

The thesis deals with the analyses of the bottom holes conditions and questions of emergencies by construction and repairs of oil and gas wells as well as the construction of the magnetic fishing tools used in boreholes. The requirements for the tools magnetic systems are determined and the main criteria of their effectiveness are explored. The new constructions of armor magnetic systems based on rare-earth neodymium magnets are developed.

The process of redistribution of magnetic fluxes during the interaction of the magnetic system with ferromagnetic object using the finite element method is explored. The rational geometric dimensions of the systems elements with minimum scattering of magnetic fluxes are determined and the action of high temperatures on the power characteristics of the magnetic systems is established.

The reliability of researches and design techniques of the magnetic systems with high power and magnetic features are experimentally confirmed. The constructions of the magnetic tools with nine dimension-types are developed and their industrial testing is conducted.

Keywords: bottom hole, ferromagnetic object, magnetic system, permanent magnet, rare-earth material, fishing tool, hoisting capacity.

Підп. до друку 26.02.2015. Формат 60x90/16.
Папір офс. Друк різнографічний. Гарн. Times New Roman.
Авт. арк. 0,9. Наклад 100.

Видавець та виготівник «Симфонія форте»
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Крайківського, 2
тел. (0342) 77-98-92

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців
та виготівників видавничої продукції: серія ДК № 3312 від 12.11. 2008 р.