



Матеріали, конструкції та обладнання об'єктів нафтогазового комплексу

Прийнято 29.08.2025. Прорецензовано 13.10.2025. Опубліковано 26.12.2025.

УДК 622.242.001.24

DOI: 10.31471/1993-9868-2025-2(44)-148-159

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНІТНИХ СИСТЕМ МЕТАЛОУЛОВЛЮВАЧІВ

Романишин Т. Л.

Кандидат технічних наук, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-0856-1537>

e-mail: tarasromanushun@gmail.com

Романишин Л. І.

Кандидат технічних наук, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

<http://orcid.org/0000-0002-4936-4943>

e-mail: romanyshynl@gmail.com

Анотація. Під час спорудження нафтових і газових свердловин на вибоях накопичується металевий скрап, який повністю не виноситься на поверхню потоком промивальної рідини, але супроводжує процес буріння та зумовлює прискорене зношування породорізального інструменту. Для зменшення аварійності та підвищення техніко-економічних показників буріння необхідно очищувати вибій від шламу та металевих частинок. Одним із найбільш ефективних способів очищення вибою від дрібних металевих предметів є застосування магнітних металоуловлювачів. Аналіз умов експлуатації ловильних пристроїв показав, що суттєвий вплив на їх характеристики здійснюють конструктивні чинники, зокрема розміри елементів магнітних систем та їх взаємне розташування. Метою роботи є дослідження впливу конструктивних чинників на ефективність роботи магнітних металоуловлювачів. Для цього розроблено схему магнітної системи з урахуванням умов роботи пристроїв у свердловині. З метою встановлення раціональних розмірів постійних магнітів та магнітопроводів проведено теоретичні дослідження магнітних характеристик систем уловлювачів шляхом побудови їх тривимірних моделей та подальших розрахунків в середовищі ANSYS Electronics Desktop. В результаті отримано розподіл магнітної індукції на поверхні та в робочому зазорі магнітних систем із різними довжинами магнітів. Встановлено, що зміна довжини постійного магніту в межах від 6 мм до 10 мм незначно впливає на розподіл магнітної індукції, зберігаючи подібний характер та значення. Найбільш раціональними з точки зору використання енергії магнітного поля є системи, у яких при довжині магніту 6 мм довжина магнітопроводу становить 20 мм. При цьому магнітопроводи працюють на межі насичення магнітом'якого матеріалу.

Запропоноване посилання: Романишин, Т. Л. & Романишин, Л. Я. (2025). Дослідження характеристик магнітних систем металоуловлювачів. Нафтогазова енергетика, 2(44), 148-159. doi: 10.31471/1993-9868-2025-2(44)-148-159.

* Відповідальний автор



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Ключові слова: магнітний металоуловлювач; магнітна система; постійний магніт; магнітна індукція; вибій свердловини; феромагнітний предмет.

Вступ

Одним із шляхів підвищення техніко-економічних показників спорудження нафтових і газових свердловин, а також зменшення аварійності є очищення вибоїв свердловин від шламу та металевих уламків. На сьогоднішній день збільшення глибин буріння ускладнює умови роботи бурового обладнання та інструменту, відтак кількість аварій та обсяг робіт з їх ліквідації зростає.

На вибої кожної свердловини, поряд зі шламом, присутній металевий скрап різної маси та форми [1-3]. Частинки металу потрапляють в свердловину як під час проведення бурових робіт, так і в результаті аварійної ситуації. За умови дотримання рекомендованої швидкості висхідного потоку промивальної рідини забезпечується очищення вибою від металевих частинок розміром до 2 мм [4]. Частинки більшого розміру та густини (твердий сплав) не виносяться на поверхню, проте супроводжують процес руйнування породи і є основною причиною виходу з ладу породоруйнівного інструменту.

Зі збільшенням обсягів спорудження похило-скерованих і горизонтальних свердловин, актуальним є питання винесення шламу та металу з горизонтальних ділянок [5-6]. Адже на цих ділянках потік промивальної рідини спрямований перпендикулярно до гравітаційних сил, що діють на частинки шламу. В похило-скерованій свердловині об'єм шламу і металевого скрапу, що виносяться потоком промивальної рідини на поверхню, зменшується зі зростанням зенітного кута. Наприклад, за величини зенітного кута від 60° до 85° на поверхню виносяться не більше 20 % частинок вибуреної гірської породи [7]. Тому, для ефективного очищення стовбура похило-скерованих і горизонтальних свердловин потрібно суттєво підвищувати швидкість висхідного потоку промивальної рідини у порівнянні з умовами промивання вертикальних свердловин.

Вплив металу на техніко-економічні показники буріння залежить від геологічних умов. Так, в процесі руйнування м'яких порід металеві частинки вдавлюються в стінки свердловин. Під час подальшого поглиблення стовбура внаслідок механічного впливу бурильної колони та промивальної рідини металеві уламки знову потрапляють на вибій свердловини. В середніх та твердих за міцністю породах вдавлення металевих предметів до стінок сверд-

ловин не відбувається. Натомість, метал накопичується на вибої, що призводить до зношування доліт та зменшення темпів поглиблення свердловин.

Накопичення металевих уламків на вибої свердловини відбувається з різних причин. Під час буріння внаслідок взаємного руйнування гірської породи та породоруйнівного інструменту можливе сколювання зубів, а також випадання елементів опор шарошкових доліт. Проблема аварійної втрати значної кількості зубків особливо актуальна для доліт вітчизняного виробництва. Застосування якісних шарошкових закордонних доліт з високою стійкістю опор і озброєння, а також доліт PDC дозволяє суттєво зменшити аварійність. Проте, варто зазначити, що експлуатація полікристалічних алмазних доліт передбачає ретельне очищення вибою від металевих предметів [1].

Металеві уламки залишаються на вибої в процесі фрезерування бурильного інструменту [3, 8]. Потік промивальної рідини виносить лише частину металевого скрапу на поверхню, тож на вибої свердловини утворюється шар абразивного осаду, що містить крупні уламки породи та металевий скрап. Це є основною причиною швидкого зношування озброєння долота, адже збільшується ударно-вібраційне навантаження на долото і, як наслідок, зменшується стійкість опори.

Особливо багато металевого скрапу утворюється після виконання аварійно-відновлювальних робіт в свердловинах, а також в процесі забурювання бокових стовбурів [9-10]. Бурінню бокового стовбура передують процес вирізання "вікна" в обсадній колоні. При цьому утворюється металевий скрап, що повністю не виносяться до устя свердловини, а супроводжує процес буріння.

Накопичення металевих уламків відбувається не тільки в процесі поглиблення, але і під час закінчування свердловин. Перфорація обсадної колони утворює значну кількість уламків металу та породи, які потрібно вилучати з свердловини [3]. В іншому випадку це може призвести до зниження продуктивності свердловини.

Засмічення свердловин металевими уламками є серйозною проблемою, особливо при складних умовах спорудження свердловин, таких як значні глибини чи зенітні кути. Наявність на вибої свердловини металевих предметів знижує механічну швидкість буріння, пока-

знижки роботи доліт та призводить до аварій з ними. Враховуючи постійне збільшення вартості спорудження свердловин, та пов'язані з цим витрати на аварійно-відновлювальні роботи [1, 8], актуальним питанням є застосування ефективного ловильного інструменту для усунення засмічення свердловин металевими уламками, особливо за складних умов спорудження свердловин.

Аналіз сучасних закордонних та вітчизняних досліджень

Вибір методики та інструменту для проведення ловильних робіт залежить від кількості, форми та розмірів залишених в свердловині металевих предметів, а також інших експлуатаційних чинників. Для вилучення дрібних металевих предметів, які не можуть бути винесені потоком промивальної рідини, часто застосовують шламометалоуловлювачі [8]. Їх доцільно використовувати як в процесі буріння, так і під час ліквідації аварій в компоновці з торцевим фрезером. Відповідно шламометалоуловлювачі встановлюють над долотом або фрезером. Недоліками таких пристроїв є швидке заповнення камери шламом, обмежена здатність уловлювання твердосплавного оснащення долота та великих металевих уламків, тому іноді встановлюють декілька пристроїв або поєднують шламометалоуловлювачі з магнітними пристроями для збільшення об'єму вилученого шламу та металу.

Результати досліджень [11] вказують, що металеві предмети на вибої зумовлюють чимало ускладнень та збільшують витрати на спорудження, особливо глибоких морських свердловин та свердловин із значним зенітним кутом. Деякі нафтосервісні компанії для вилучення аварійного металу використовують системи на основі ефекту Вентурі. Зокрема, компанією Schlumberger розроблено інструмент модульної конструкції Well Scavenger [3]. Потік промивальної рідини, проходячи через секцію двигуна, створює ділянку низького тиску, яка, в свою чергу, утворює зворотню циркуляцію, що захоплює шлам та металеві предмети та направляє їх до збірних камер. Після заповнення однієї камери уламки направляються до наступних камер. Модульна конструкція інструменту дає можливість доповнити його магнітним уловлювачем Magnostar, що притягує феромагнітні уламки з потоку рідини. Відомий випадок застосування інструменту для ліквідації аварійної ситуації на родовищі північної Аляски (США) [3]. Фрезерування заклиненого пакера зумовило значну кількість металевих

уламків у свердловині. В результаті трьох спусків компоновки, що містила Well Scavenger та три магнітних уловлювачі Magnostar, із свердловини вилучили 824 кг металевих та інших уламків.

Нафтопромислова сервісна компанія Baker Hughes для вилучення уламків із свердловини використовує кільцеву векторну систему очищення (VACS) [12]. Пристрій здатний захоплювати як металеві, так і неметалеві предмети. Це досягається шляхом циркуляції потоку рідини через спеціальні канали, що створюють вакуум в нижній частині інструменту. Ефективність даної системи очищення підтверджена успішними прикладами застосування на свердловинах Мексиканської затоки та Північного моря.

Аналіз досвіду буріння понад 500 свердловин дає підстави стверджувати, що ефективним способом вилучення металевих уламків є застосування магнітних пристроїв [13]. Авторами [14] розроблено конструкції магнітних ловильних пристроїв невеликого діаметру для очищення свердловин від металевих скрапу під час вирізання "вікна" в обсадних колонах діаметром 114 мм, 127 мм та 140/146 мм. Магнітні системи пристроїв містять сегментні радіально намагнічені постійні магніти із рідкісноземельних матеріалів, що встановлені між магнітопроводами циліндричної форми.

В роботі [15] спроектовано ловильний пристрій великого діаметра з рухомими магнітними системами, здатними відтворювати форму уловлюваних предметів. Застосування магнітного пристрою дає можливість вилучати із свердловини феромагнітні предмети неправильної геометричної форми, такі як шарошки, лапи або навіть цілі долота. Проте варто зазначити, що інструмент не є ефективним під час вилучення великої кількості металевих скрапу, утвореного в результаті фрезерних робіт у свердловинах.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених підвищенню ефективності очищення вибою свердловини, ряд важливих питань залишається недостатньо вивченим. Зокрема, більшість робіт зосереджує увагу на гідродинамічних параметрах процесу вилучення шламу та металевих скрапу, тоді як вплив конструктивних особливостей магнітних систем на ефективність уловлювання металевих частинок в умовах реальних свердловини потребує подальшого дослідження.

Мало вивченим залишаються питання вибору раціональних геометричних параметрів постійних магнітів і магнітопроводів, їх взаємного розташування та впливу цих чинників на розподіл магнітної індукції у робочій зоні пристрою. Також важливим аспектом є оцінка ефективності роботи магнітних металоуловлювачів залежно від конструктивних параметрів магнітної системи та умов експлуатації у свердловині. Відтак, науковий та практичний інтерес має питання розроблення принципової схеми магнітної системи та дослідження оптимальних геометричних розмірів постійних магнітів і магнітопроводів.

Мета та завдання досліджень

Метою роботи є дослідження впливу конструктивних чинників на ефективність роботи магнітних металоуловлювачів. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- на основі аналізу умов експлуатації пристроїв розробити принципову схему магнітної системи уловлювача;
- провести теоретичні дослідження з визначення оптимальних геометричних розмірів постійних магнітів і магнітопроводів шляхом моделювання магнітних систем методом скінченних елементів.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

Зважаючи на відсутність можливості очищення вибою від металевих скрапів лише за допомогою промивальної рідини, варто включати в компоновку бурильної колони магнітні металоуловлювачі. Такі пристрої повинні якісно очищати свердловини від феромагнітних та твердосплавних частин, володіти високими силовими і магнітними характеристиками, бути стійкими до дії зовнішніх розмагнічуючих факторів та не потребувати періодичного намагнічування під час експлуатації. Основним складовим елементом магнітного пристрою є магнітна система. Враховуючи умови експлуатації, робочі поверхні магнітної системи повинні бути відкритими для обтікання промивальної рідини, а силові магнітні поля розташовуватися перпендикулярно до потоку рідини та створювати необхідні магнітні поля для уловлення всіх феромагнітних частинок.

Магнітні системи ловильних пристроїв належать до класу утримуючих. Відтак, їх основними характеристиками є зусилля притягання, зусилля зсуву на робочій поверхні системи, тягова характеристика, а також магнітна

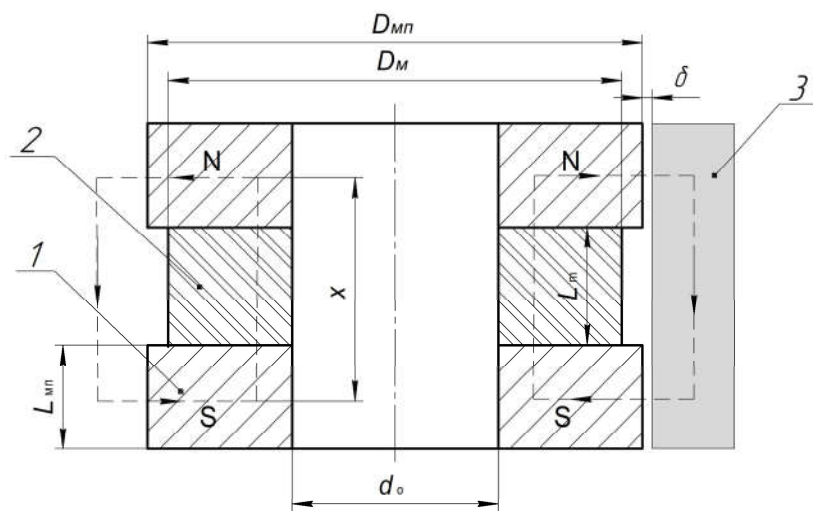
індукція в робочому зазорі. Визначальний вплив на характеристики магнітних систем здійснюють конструктивні чинники, а саме: оптимальні співвідношення геометричних розмірів постійних магнітів і магнітопроводів, взаємне розташування елементів в системі. Крім того, проектування магнітних систем передбачає вибір магнітотвердих і магнітом'яких матеріалів. Висока вартість постійних магнітів зумовлює їх раціональне використання. Тому магнітні системи повинні створювати необхідне магнітне поле за мінімальних витрат матеріалів. Важливим також є врахування умов роботи пристрою на вибої свердловин, таких як: тип промивальної рідини, наявність шару шламу, температура та ін. Таким чином, вихідними даними для проектування магнітних систем є:

- 1) необхідна величина індукції в робочому зазорі;
- 2) характеристики магнітотвердих і магнітом'яких матеріалів;
- 3) умови роботи пристроїв в свердловині та характеристики свердловини.

Розрахункова схема магнітної системи наведена на рис. 1. Важливим завданням під час проектування магнітних систем є розрахунок магнітних полів. Неточності у розрахунках можуть призвести до встановлення нераціональних розмірів елементів магнітних систем, і, як наслідок, до зайвої витрати матеріалів. Теоретичні дослідження вибору раціональних розмірів елементів магнітної системи проведено для ділянки системи із зовнішнім діаметром 46 мм, що містить кільцеві магнітопроводи 1, між якими встановлено кільцевий постійний магніт 2. Вихідні дані до розрахунку наведені в таблиці 1.

Магнітна система уловлювача складається з постійних магнітів 2 і магнітопроводів 1, що концентрують та направляють магнітний потік у робочу ділянку 3. Відомо, що зусилля притягання пропорційне квадрату магнітної індукції та площі магнітопроводів. Відтак, більшу частину робочої поверхні магнітної системи повинні займати саме магнітопроводи. Високі значення зусилля притягання можливо отримати за умови насичення магнітопроводів до максимально можливих значень магнітної індукції. Для цього потрібно, щоб постійні магніти створювали магнітний потік, який дещо перевищує пропускну здатність магнітопроводів:

$$B_s \cdot S_{np} < \frac{B_r \cdot S_m}{k}, \quad (1)$$



1 – магнітопроводи; 2 – постійний магніт; 3 – зона уловлення металевих предметів
 $D_{мп}$ – зовнішній діаметр магнітопроводу; $D_м$ – зовнішній діаметр магніту; d_o – діаметр отвору,
 $L_м$ – довжина магніту; $L_{мп}$ – довжина магнітопроводу; δ – величина робочого зазору; x – відстань
 між серединами магнітопроводів

Рисунок 1 – Розрахункова схема магнітної системи уловлювача

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку системи [16]

Назва параметру	Позначення	Значення
Довжина магніту, мм	$L_м$	6, 8, 10
Діаметр магнітопроводу, мм	$D_{мп}$	46
Діаметр магніту, мм	$D_м$	44
Діаметр отвору, мм	d_o	22
Залишкова індукція постійного магніту, Тл (для марки N42SH)	B_r	1,29
Індукція насичення магнітопроводу, Тл (для матеріалу Сталь 10)	B_s	2,1
Коерцитивна сила, А/м	$H_{св}$	936000

де B_s – індукція насичення матеріалу магнітопроводу, Тл;

S_{np} – площа перерізу магнітопроводу, м²

$$S_{np} = L_{мп} \cdot (D_{мп} - d_o); \quad (2)$$

B_r – залишкова індукція матеріалу постійного магніту, Тл;

$S_м$ – площа полюса магніту, м²

$$S_м = \frac{\pi(D_м^2 - d_o^2)}{4}; \quad (3)$$

k – коефіцієнт, що враховує зміну магнітного потоку із збільшенням робочої температури і поля розсіювання магнітної системи, $k \approx 1,3$ [17].

Враховуючи наведені твердження та підставляючи (2, 3) в (1), отримуємо нерівність $L_{мп} < 22,4$ мм. Остаточного приймаємо значення довжини магнітопроводу 20 мм, за якого виконується умова насичення магнітопроводу магнітної системи. Варто зазначити, що як магні-

тотвердий матеріал обрано рідкісноземельний постійний магніт сплаву неодим-залізо-бор марки N42SH. На теперішній час найвищими магнітними властивостями володіють неодимові постійні магніти хімічного складу $Nd_2Fe_{14}B$.

Наступним етапом є обґрунтування вибору довжини постійного магніту. Згідно з формулою Максвелла, максимальне зусилля притягання створюється за рахунок збільшення площі полюсів, через які магнітний потік підводиться до уловлюваних предметів. Проте, потрібно також враховувати робочий зазор між феромагнітними уламками та магнітною системою. Тому магнітне поле повинно бути достатнім для притягання уламків на відстані від системи. Збільшити зону взаємодії магнітного поля з феромагнітними предметами можна шляхом збільшення міжполюсної відстані, тобто використання постійних магнітів більшої довжини, що збільшує витрату матеріалів.

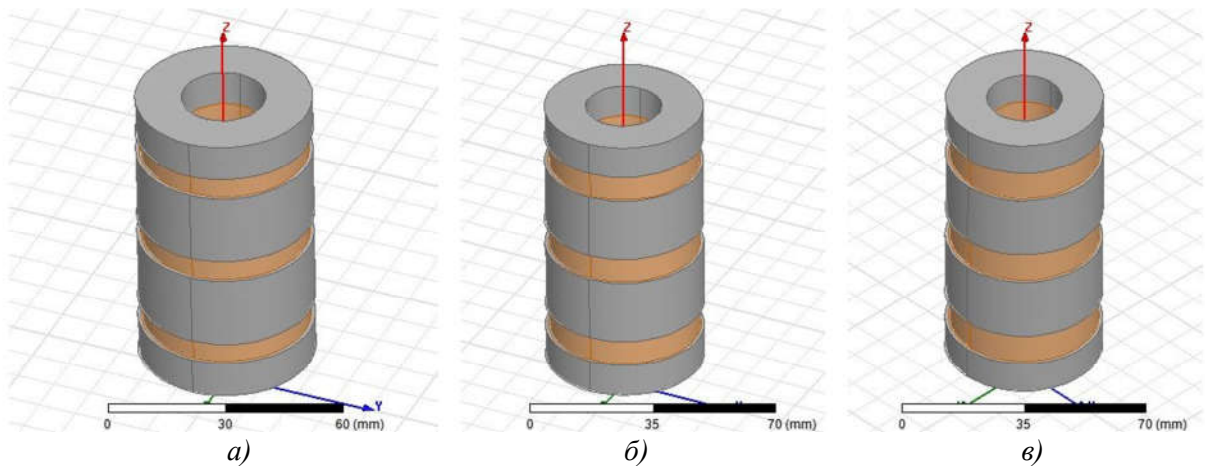


Рисунок 2 – Тривимірні моделі магнітних систем діаметром 46 мм із довжиною магнітів 6 мм (а), 8 мм (б) та 10 мм (в)

Для вибору раціональної довжини постійних магнітів здійснено розрахунок розподілу магнітної індукції на робочій поверхні магнітних систем. Для цього у середовищі програми Solid Works побудовано тривимірні моделі магнітних систем із різними довжинами магнітів, а саме: 6 мм, 8 мм та 10 мм (рис. 2). Розрахунок кожного з варіантів систем проводився методом скінченних елементів у середовищі програми ANSYS Electronics Desktop.

В результаті розрахунку отримано розподіл магнітної індукції на поверхні магнітних систем та в робочому зазорі (рис. 3)

Для кращої наочності одержаних результатів побудовано векторні та скалярні графіки розподілу магнітної індукції (рис. 4-6). Для цього в середовищі програми ANSYS Electronics Desktop створено додаткову лінію на поверхнях магнітних систем (рис. 2, а; в). Також побудовано лінії на відстані 2 мм та 10 мм від робочої поверхні систем, оскільки важливо знати розподіл магнітного поля в зазорі.

Проведений розрахунок розподілу магнітної індукції на робочій поверхні магнітних систем з постійними магнітами довжиною 6, 8 та 10 мм показав, що характер розподілу магнітного поля є практично однаковим для всіх трьох варіантів (рис. 3). Різниця між результатами становить близько 10%. Отримані дані підтверджуються також графіками розподілу магнітної індукції в робочому зазорі (рис. 4, 5). Для системи з довжиною магніту 10 мм децю вищі значення магнітної індукції в робочому зазорі пояснюється збільшеною міжполюсною відстанню.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що максимальні значення магнітної ін-

дукції зосереджені на вершинах магнітопроводів, що зумовлено більшою густиною силових ліній на цих ділянках. Відповідно, уловлювані предмети переважно будуть розташовуватися в цих зонах. На графіках чітко видно, що крива розподілу магнітної індукції при зазорі 2 мм має пологий характер, а її пікові значення удвічі нижчі за максимальні. За умови збільшення робочого зазору до 10 мм спостерігається майже рівномірний розподіл індукції з відносно низькими значеннями (приблизно 0,1 Тл) по всій робочій поверхні. Векторний графік розподілу нормальної складової магнітної індукції (рис. 6) демонструє наявність періодичних піків. Більші значення індукції на вершинах магнітопроводів пояснюється тим, що ці елементи є концентраторами магнітного потоку.

Таким чином, за результатами проведених досліджень для магнітної системи уловлювача доцільно обрати постійний магніт довжиною 6 мм. Значення магнітної індукції за використання магнітів такої довжини практично не відрізняються від значень, отриманих за довжини магніту 10 мм. Водночас застосування коротших магнітів дає змогу збільшити корисну площу полюсів та знизити загальну вартість виготовлення магнітної системи.

Варто зазначити, що для ефективного уловлювання феромагнітних частинок, що транспортуються з вибою свердловини потоком промивальної рідини, необхідно створити максимальну магнітну індукцію в робочому зазорі, а також забезпечити достатній час дії магнітного поля на частинки. Тривалість перебування частинок у магнітному полі уловлювача визначається швидкістю висхідного потоку промивальної рідини та довжиною магнітної

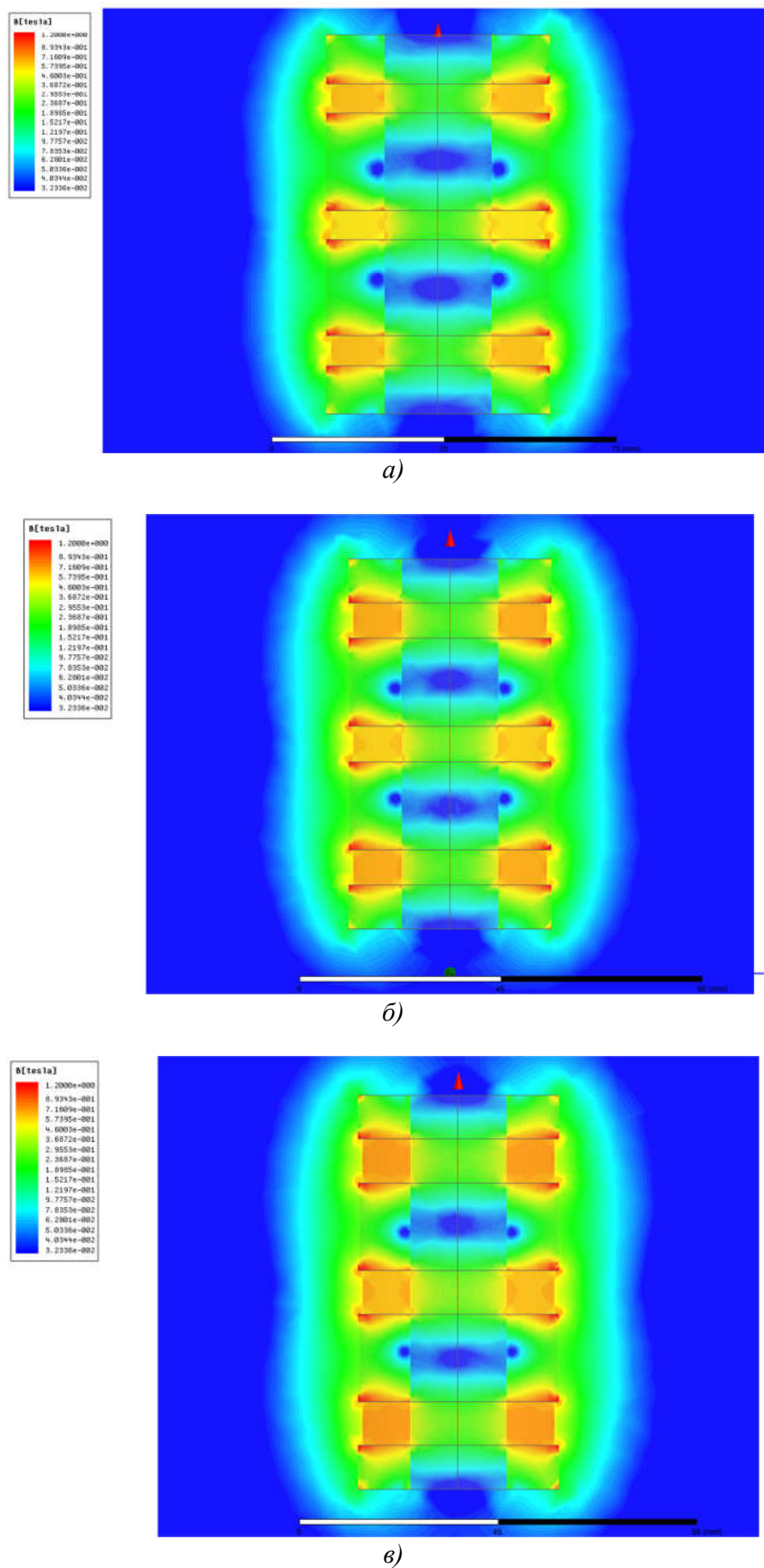


Рисунок 3 – Розподіл магнітної індукції в системі з довжиною магніту 6 мм (а), 8 мм (б), 10 мм (в)

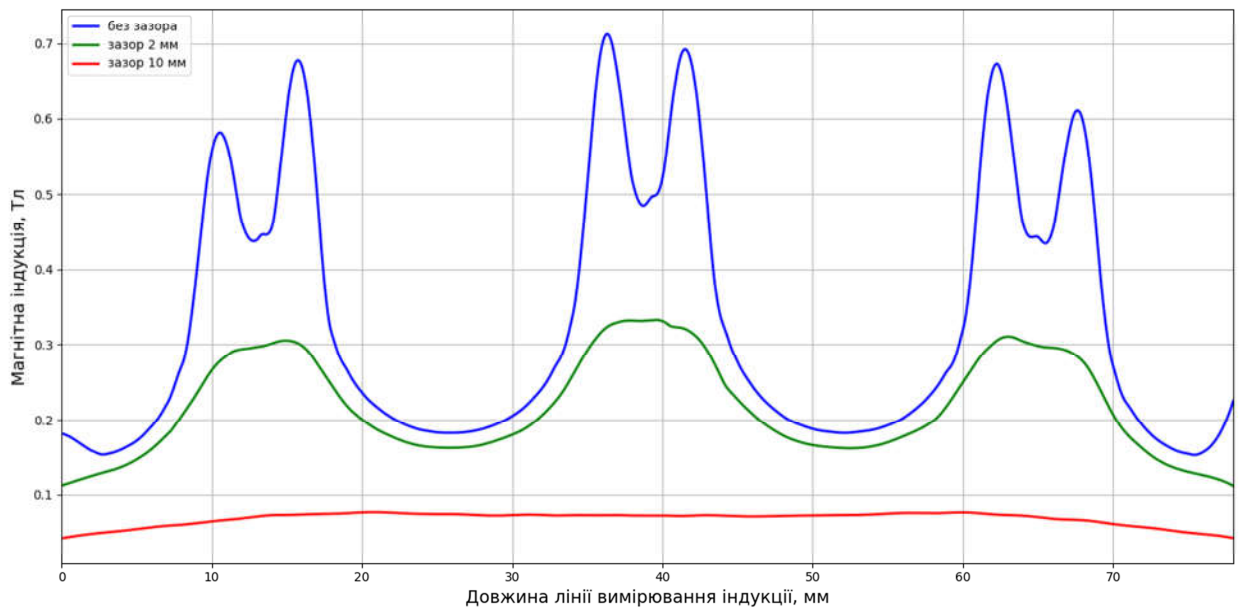


Рисунок 4 – Скалярний графік розподілу магнітної індукції в системі з довжиною магніту 6 мм

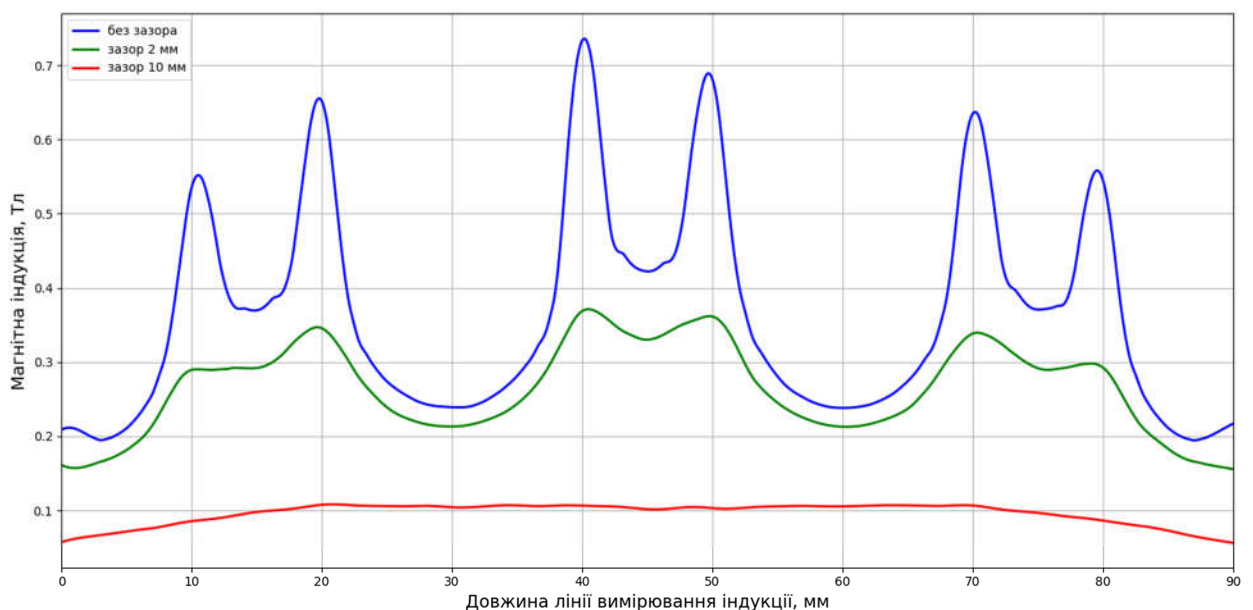


Рисунок 5 – Скалярний графік розподілу магнітної індукції в системі з довжиною магніту 10 мм

системи. Враховуючи умови ефективного винесення шламу, довжина магнітної системи визначається за формулою:

$$L = C \cdot t, \quad (4)$$

де C – середня швидкість руху феромагнітних частинок у зоні ловильного пристрою;

t – нормативний час руху феромагнітних частинок у магнітному полі, протягом якого відбувається їх уловлення із потоку рідини.

Відтак, подальші дослідження будуть зосереджені на проведенні гідравлічних розрахунків для різних варіантів застосування улов-

лювача з метою визначення необхідної довжини магнітної системи. Отримані результати стануть основою для подальшого етапу – проектування конструкції магнітного металоуловлювача.

Висновки

1. Встановлено, що під час буріння та проведення аварійно-відновлювальних робіт у свердловинах накопичуються металеві уламки та скрап. Аналіз існуючих методів очищення вибою від феромагнітних частинок показав

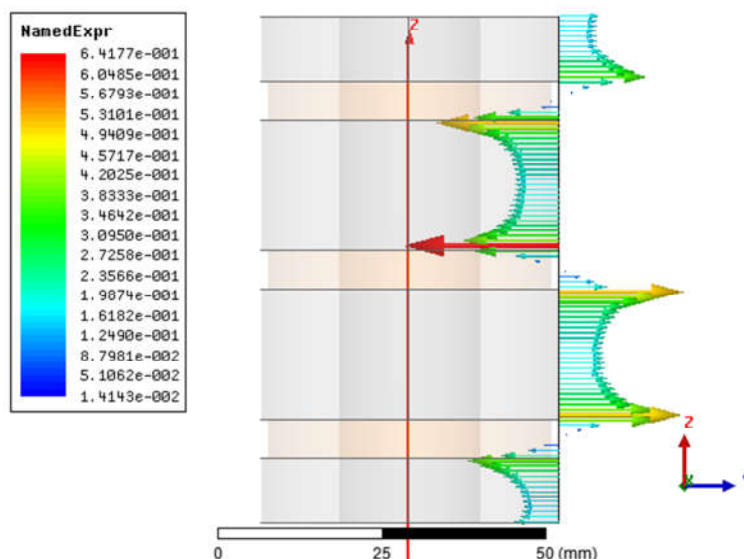


Рисунок 6 – Векторний графік розподілу нормальної складової магнітної індукції в системі з довжиною магніту 6 мм

доцільність застосування магнітних металоуловлювачів, ефективність роботи яких визначається конструктивними особливостями магнітної системи. Враховуючи умови експлуатації пристроїв, розроблено принципову схему магнітної системи уловлювача, що містить кільцеві магнітопроводи та кільцеві рідкісноземельні постійні магніти.

2. Досліджено вплив конструктивних чинників, зокрема геометричних розмірів постійних магнітів і магнітопроводів, на характеристики магнітних систем. Встановлено, що для заданих розмірів магнітної системи довжина магнітопровода не повинна перевищувати 22 мм. При цьому магнітопроводи працюють на межі насичення магнітом'якого матеріалу та раціонально використовується енергія магнітного поля.

3. Проведені дослідження показали, що характер розподілу магнітної індукції в уловлювальній системі залишається практично незмінним при використанні постійних магнітів довжиною 6, 8 та 10 мм. Незважаючи на незначне зростання значень індукції при збільшенні довжини магніту, відмінності між результатами не перевищують 10%. Відтак, використання магнітів довжиною 6 мм є доцільним, оскільки забезпечує необхідні магнітні параметри, дозволяє зменшити витрати на матеріали та збільшити корисну площу полюсів.

Подяки

Відсутні.

Конфлікт інтересів

Відсутній.

Список використаних джерел

1. Fishing techniques for drilling operations / J. Douglas. Texas, USA, 1999. P. 15–24. URL: <https://www.scribd.com/doc/86897280/Fishing-Techniques-for-Drilling-Operations>
2. DeGeare J. P., Haughton D., McGurk M. The Guide to Oilwell Fishing Operations: Tools, Techniques, and Rules of Thumb. 2nd ed. Gulf Professional Publishing, 2014. 213 p. https://books.google.com.ua/books/about/The_Guide_to_Oilwell_Fishing_Operations.html?id=Rr5LPDOJdWkC&redir_esc=y
3. Coll B. [et al.]. Specialized Tools for Wellbore Debris Recovery. *Oilfield Review*. 2012. Vol. 24, no. 4. P. 4–13. URL: http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors12/win12/1_specialized.pdf
4. Ju G., Yan T., Sun X. Numerical Simulation of Effective Hole Cleaning by Using an Innovative Elliptical Drillpipe in Horizontal Wellbore. *Energies*. 2022. Vol. 15, iss. 2, art. 399. <https://doi.org/10.3390/en15020399>

5. Advanced Hole Cleaning Monitoring in Real-time Improves Drilling Performance in Highly Deviated and Horizontal MRC (Maximum Reservoir Contact) Wells Drilled in the Lower Cretaceous Formations / M. Al-Sawafi [et al.]. October 30 – November 2, 2023. <https://doi.org/10.56952/IGS-2023-0056>
6. Allawi R. H., Almahdawi F. H. M. Better Hole Cleaning In Highly Deviated Wellbores. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 579, art. 012007. doi:10.1088/1757-899X/579/1/012007
7. Alawami M. [et al.]. A Real-Time Indicator for the Evaluation of Hole Cleaning Efficiency. 2019. <https://doi.org/10.2118/196448-MS>
8. Johnson E. [et al.]. Landing the big one – the art of fishing. *Oilfield Review*. 2012. Vol. 24, no. 4. P. 26–35.
9. Коцкулич Я. С., Кирчей О. І., Лазаренко О. Г., Лівінський А. М. Відновлення свердловин шляхом забурювання нових стовбурів. *Молодий вчений*. 2016. № 12.1. С. 45–49. URL: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2016/12.1/12.pdf>
10. Piatkivskiy S. [et al.]. Well Rehabilitation is a Promising Area for Increasing Hydrocarbon Production. *Journal of Mechanical Engineering*. 2024. Vol. 74, no. 1. P. 141–158. <https://doi.org/10.2478/scjme-2024-0015>
11. Haughton D. B., Connell P. Reliable and Effective Downhole Cleaning System for Debris and Junk Removal. 2006. <https://doi.org/10.2118/101727-MS>
12. Connell P., Haughton D. B. Removal of Debris from Deepwater Wellbores Using Vectored Annulus Cleaning System Reduces Problems and Saves Rig Time. 2005. <https://doi.org/10.2118/96440-MS>
13. Best Practices for Wellbore Cleanup and Displacements in Openhole Sand-Control Completions / M. Beldongar [et al.]. *SPE Drilling & Completion*. 2018. Vol. 33, iss. 01. P. 1–11. <https://doi.org/10.2118/183888-PA>
14. Romanyshyn T., Dzhus A., Romanyshyn L. Design and research of fishing tools with rational parameters of magnetic systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 4, no. 5 (88). P. 17–22. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108822.
15. Romanyshyn T., Prysiachniuk P., Romanyshyn L. Study of the efficiency of fishing tool with the moving magnetic systems. *Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*. 2022. Vol. 2, no. 53. P. 38–46. DOI: 10.31471/1993-9965-2022-2(53)-38-46
16. DEXTER Magnetic Technologies. Material Grades. Neodymium Iron Boron Magnets. URL: <http://www.dextermag.com/material-grades/neodymium-iron-boron-magnets>
17. Романишин Т. Л. Обґрунтування вибору матеріалу постійних магнітів для ловильних пристроїв. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2013. № 1. С. 143–152. URL: <https://pdogf.com.ua/uk/journals/4-49>

References

1. Douglas, J. (1999). Fishing techniques for drilling operations. *Proceedings of AAPG Southwest Section Meeting*. Texas, USA. Retrieved from <https://www.scribd.com/doc/86897280/Fishing-Techniques-for-Drilling-Operations>
2. DeGeare, J. J. P., Haughton, D., & McGurk, M. (2014). The guide to oilwell fishing operations: Tools, techniques, and rules of thumb (2nd ed.). Gulf Professional Publishing.
3. Coll, B., Laws, G., Jenpert, J., Sportelli, M., Svoboda, C., & Trimble, M. (2012). Specialized tools for wellbore debris recovery. *Oilfield Review*, 24(4), 4–13. Retrieved from http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors12/win12/1_specialized.pdf
4. Ju, G., Yan, T., & Sun, X. (2022). Numerical simulation of effective hole cleaning by using an innovative elliptical drillpipe in horizontal wellbore. *Energies*, 15(399). <https://doi.org/10.3390/en15020399>
5. Al-Sawafi, M., Hamouda, A., Ousdidene, K., Parmeshwar, V., Louati, W., Sharma, S., Farouk, M., & Bahgat, A. (2023). Advanced hole cleaning monitoring in real-time improves drilling performance in highly deviated and horizontal MRC (maximum reservoir contact) wells drilled in the lower Cretaceous formations. *Proceedings of International Geomechanics Symposium*. <https://doi.org/10.56952/IGS-2023-0056>

6. Allawi, R. H., & Almahdawi, F. H. M. (2019). Better hole cleaning in highly deviated wellbores. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 579(012007). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/579/1/012007>
7. Alawami, M., Bassam, M., Gharbi, S., & Rubaii, M. (2019). A real-time indicator for the evaluation of hole cleaning efficiency. *Proceedings of SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition*. <https://doi.org/10.2118/196448-MS>
8. Johnson, E., Land, J., Lee, M., & Robertson, R. (2012). Landing the big one – the art of fishing. *Oilfield Review*, 24(4), 26–35.
9. Kotskulych, Ia. S., Kyrchei, O. I., Lazarenko, O. H., & Livinskyi, A. M. (2016). Vidnovlennia sverdllovykh shliakhom zaburiuvannia novykh stovburiv [The well recovery by side tracking]. *Molodyi vchenyi*, 12(1), 45–49. <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2016/12.1/12.pdf> [in Ukrainian]
10. Piatkivskyi, S., Stavychnyi, Y., Femiak, Y., Tershak, B., Ahafonov, D., & Kovbasiuk, M. (2024). Well rehabilitation is a promising area for increasing hydrocarbon production. *Journal of Mechanical Engineering*, 74(1), 141–158. <https://doi.org/10.2478/scjme-2024-0015>
11. Haughton, D. B., & Connell, P. (2006). Reliable and effective downhole cleaning system for debris and junk removal. *Proceedings of SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition*. <https://doi.org/10.2118/101727-MS>
12. Connell, P., & Haughton, D. B. (2005). Removal of debris from deepwater wellbores using vectored annulus cleaning system reduces problems and saves rig time. *Proceedings of SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. <https://doi.org/10.2118/96440-MS>
13. Beldongar, M., Agee, D., Kumar, A., Offenbacher, M., Flamant, N., Lees, A., Gadiyar, B., & Parlar, M. (2018). Best practices for wellbore cleanup and displacements in openhole sand-control completions. *SPE Drilling & Completion*, 33(01), 1–11. <https://doi.org/10.2118/183888-PA>
14. Romanyshyn, T., Dzhus, A., & Romanyshyn, L. (2017). Design and research of fishing tools with rational parameters of magnetic systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(5 (88)), 17–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108822>
15. Romanyshyn, T., Prysiazniuk, P., & Romanyshyn, L. (2022). Study of the efficiency of fishing tool with the moving magnetic systems. *Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*, 2(53), 38–46. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2022-2\(53\)-38-46](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2022-2(53)-38-46)
16. DEXTER Magnetic Technologies. (n.d.). Material grades. Neodymium iron boron magnets. Retrieved from <http://www.dextermag.com/material-grades/neodymium-iron-boron-magnets>
17. Romanyshyn, T. L. (2013). Obgruntuvannia vyboru materialiv postiinykh mahnitiv dlia lovylnykh prystroiv [Substantiation of the choice of permanent magnet materials for fishing tools]. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*, (1), 143–152. <https://pdogf.com.ua/uk/journals/4-49> [in Ukrainian]

STUDY OF PARAMETERS OF FISHING MAGNET SYSTEMS

Romanyshyn T. L.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Karpatska Str., 15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0856-1537>
e-mail: tarasromanushun@gmail.com

Romanyshyn L. I.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Karpatska Str., 15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-4936-4943>
e-mail: romanyshynl@gmail.com

Abstract. During the construction of oil and gas wells, metal debris accumulates at the bottomholes. It is not completely removed to the surface by the flow of drilling fluid but remains throughout the drilling process, causing accelerated wear of rock-destroying tools. To reduce accident rates and improve the technical and economic performance of drilling, it is necessary to clean the bottomhole from cuttings and metal particles. One of the most effective methods for cleaning the bottomhole from metal particles is the use of fishing magnets. An analysis of the operating conditions of fishing tools has shown that their performance is significantly influenced by design factors, including the dimensions of the magnetic system elements and their relative arrangement. The aim of the research is to study the influence of design characteristics on the efficiency of fishing magnets. The magnetic system was developed, taking into account the operating conditions of the tools in the well. To determine the optimal dimensions of permanent magnets and magnetic cores, theoretical studies of the systems' magnetic characteristics were conducted. Three-dimensional models were developed, and calculations were performed in the ANSYS Electronics Desktop environment. As a result, the distribution of magnetic flux density on the surface and at the working gap of magnetic systems with different magnet lengths was obtained. It was found that varying the length of the permanent magnet from 6 mm to 10 mm has little effect on the magnetic flux density distribution, maintaining a similar field pattern and magnitude. Considering the efficient utilization of magnetic field energy, the most optimal configuration comprises a 6 mm magnet length and a 20 mm magnetic core length, with the cores operating close to the saturation limit of the soft magnetic material.

Keywords: fishing magnet; magnetic system; permanent magnet; magnetic flux density; bottom hole; ferromagnetic object.