

3. Видовский А. Л., Булатов А. И. Напряжения в цементном кольце глубоких скважин. – Ухта: УГТУ, 2005. – 136 с.
4. Семеняк М. В., Тихонов В. Г. Ряд аварийных ситуаций после цементирования скважин Астраханского ГКМ // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и море. – 1999. – № 3. – С. 70–72.
5. Беляев К. В., Орешкин Д. В., Близнюков В. Ю. Методы повышения трещиностойкости облегченных тампонажных материалов // Нефтяное хоз-во. – 2003. – № 6. – С. 42–45.
6. Солодкий С. Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементах. – Л. : Львів. політех., 2008. – 144 с.
7. Гриманюк В. І. Дослідження тріщиностійкості армованого тампонажного каменю для кріплення нафтових і газових свердловин // Наук. вісн. НГУ. – 2014. – № 1(139) . – С. 5–10.

Надійшла 28.05.15

УДК 622.248.6:621.318.2

Л. І. Романишин, канд. техн. наук; Т. Л. Романишин, канд. техн. наук

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

### ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РОЗМІРІВ ЕЛЕМЕНТІВ КІЛЬЦЕВОЇ МАГНІТНОЇ СИСТЕМИ ФРЕЗЕРА-УЛОВЛЮВАЧА

*Описано конструкцію пристрою з рухомою магнітною системою. Встановлено механізм взаємодії ексцентрично розміщеної кільцевої магнітної системи з корпусом. Визначено раціональні геометричні розміри кільцевих елементів систем, за яких досягається необхідне зусилля зсуву.*

**Ключові слова:** вибій свердловини, фрезер-уловлювач, магнітна система, постійний магніт, зусилля зсуву.

Одним із ефективних способів очищення вибоїв свердловин від стороннього металу є застосування магнітних пристроїв, що уловлюють феромагнітні предмети без їх попереднього руйнування. Під час підймання пристроїв на денну поверхню існує небезпека відриву уловлених металевих предметів від магнітної системи, особливо у похило-скерованих свердловинах. Це спричиняє повторні аварії та подовжує час ловильних робіт. Для вилучення видовжених металевих уламків у відомих пристроях магнітомеханічної та гідромагнітної дії передбачено осьове переміщення магнітної системи у корпусі до безпосереднього контакту з предметами [1].

Проведений аналітичний огляд ловильних пристроїв з рухомою магнітною системою [2] дав можливість виявити недоліки кожного із них, а саме: невисока вантажопідймальна сила, складність конструкції для забезпечення зворотнього промивання, низька надійність роботи пружних елементів (пелюстки, пружини) та обмежена здатність утримування видовжених металевих предметів під час піднімання уловлювача на поверхню. Тому, відомі пристрої не дозволяють якісно очищувати вибій свердловин під час ліквідації аварій в процесі буріння та аварійно-відновлювальних робіт.

Для підвищення надійності вилучення видовжених феромагнітних предметів із вибоїв глибоких нафтогазових свердловин в ІФНТУНГ розроблено фрезери-уловлювачі з рухомою магнітною системою (ФУМ) зовнішніми діаметрами 112 мм і 136 мм [2; 3]. Суттєвою відмінністю пристроїв від аналогічних є магнітний спосіб фіксації основної системи у робочому положенні.

Фрезера-уловлювач магнітний (рис. 1) містить корпус 3, армований тврдосплавними ріжучими вставками для фрезерування металевих предметів на вибої свердловини, який перехідником 2 приєднується до колони бурильних труб. Перехідник має центральний і периферійні промивальні канали, розміщені під кутом відносно осі уловлювача. Таке розміщення каналів забезпечує можливість після фрезерування та припинення промивання свердловини опускати у внутрішню порожнину труб кульку 1, яка потрапивши у сідло перехідника перекидає центральний промивальний канал і під час піднімання фрезера-уловлювача направляє промивальну рідину через периферійні канали у затрубний простір для запобігання переміщення утримувальної магнітної системи в нижнє положення та відриву від основної системи уловлених феромагнітних предметів. Таким чином забезпечується надійність утримання уловлених предметів під час піднімання.

Всередині корпусу розміщені магнітні системи: основна – уловлювальна та допоміжна – утримувальна. Основна система 11 складена із неодимових рідкісноземельних постійних магнітів та виконує функцію притягання і утримування феромагнітних предметів, залишених на вибої свердловини.

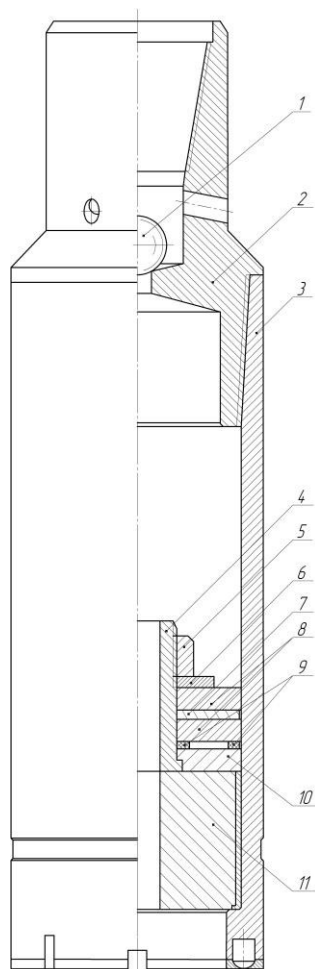


Рис. 1. Схема фрезера – уловлювача магнітного ФУМ – 136: 1 – кулька; 2 – перехідник; 3 – корпус; 4 – патрубок; 5 – гайка; 6 – шайба; 7 – постійний магніт; 8 – магнітопроводи; 9 – фторопластові кільця; 10 – діамагнітна кришка; 11 – основна магнітна система

Допоміжна магнітна система призначена для утримування основної системи у корпусі. Вона виконана зі з'єднаних послідовно постійного кільцевого рідкісноземельного магніту 7, намагніченого аксіально, і магнітопроводів 8 аналогічної форми різноїменної полярності, закріплених до немагнітного патрубку 4, з'єданого з діамагнітною кришкою 10 основної системи із зазором. Між допоміжною та основною магнітними системами розміщені два фторопластові кільця 9, проміжок між якими заповнений мастилом і які виконують роль опори ковзання.

Допоміжна система створює магнітне поле, яке взаємодіє із корпусом уловлювача та утримує основну систему з притягнутими уламками у будь-якому положенні. За рахунок переміщення систем збільшується об'єм порожнини корпусу для уловлення видовжених предметів. Основним силовим параметром допоміжної системи є зусилля зсуву, яке для кожного діаметра фрезера-уловлювача визначається залежно від рекомендованого осьового навантаження під час фрезерування та максимальної маси уловлених металевих частин. Для магнітних фрезерів із зовнішнім діаметром 136 мм максимальне осьове навантаження під час фрезерування становить 10 кН, тому максимальне зусилля зсуву обмежується цим значенням. Водночас, рухома система під час підймання фрезера-уловлювача на поверхню повинна надійно утримувати уловлені предмети. Практика експлуатації ловильних пристроїв такого діаметра показала, що маса уловлених предметів не перевищує 100 кг [1; 4]. Отже, мінімальне значення зусилля зсуву – не менше 1000 Н, максимальне – не повинно перевищувати 10 кН.

Зусилля зсуву  $F_{zc}$  системи пропорційне силі притягання  $F_{np}$  до корпусу з урахуванням коефіцієнта тертя, який у свою чергу залежить від шорсткості

поверхонь магнітопроводів та корпусу і знаходиться в межах 0,205-0,245 [5]. При цьому потрібно враховувати, що магнітні сили змінюють характер зачеплення мікронерівностей контактуючих поверхонь, з'являється зубцевий ефект, що збільшує коефіцієнт тертя [6]. З іншого боку, магнітна система переміщується у середовищі промивальної рідини, що навпаки зменшить коефіцієнт тертя. Можна припустити, що ці два чинники взаємно компенсують дію один одного.

Отже, необхідна сила притягання допоміжної магнітної системи до корпусу становить від 4000 Н до 5000 Н. Зважаючи на деякі експлуатаційні чинники (вібрації, удари), що не враховуються під час моделювання, а також ймовірні менші реальні значення від розрахункових, приймемо, що остаточна  $F_{np}$  не менше 5000 Н. Для створення заданої сили розроблена магнітна система, що складається із двох кільцевих магнітопроводів та розміщеного між ними рідкісноземельного постійного магніту (рис. 2).

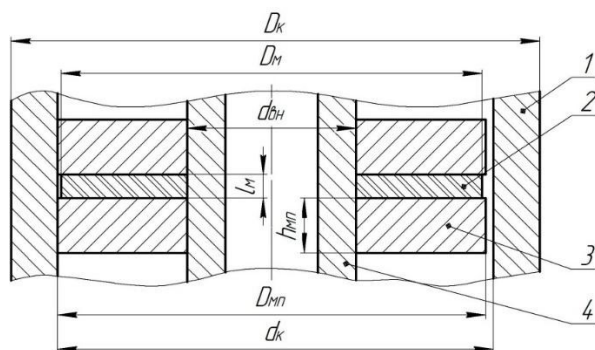


Рис. 2. Схема допоміжної системи: 1 – корпус; 2 – постійний магніт; 3 – магнітопровід; 4 – немагнітний патрубок

Розміщена в корпусі допоміжна система притягується частиною бокової поверхні до внутрішньої поверхні корпусу. За рахунок різниці діаметрів з протилежного боку утворюється технологічний зазор 1 мм. Враховуючи безпосередню близькість корпусу та його невелику товщину, для створення заданої  $F_{пр}$  достатньо магніту довжиною 6 мм. Висоту магнітопроводів, що забезпечує силу притягання 5000 Н, знайдемо шляхом розв'язання параметричної задачі.

Розрахунок проводимо в середовищі ANSYS Maxwell 16.0. Висоту магнітопроводів  $h_{мп}$  задаємо параметрично в діапазоні від 6 мм, що відповідає довжині магніту, до 24 мм з кроком 0,5 мм. За результатами дослідження встановлено найменше значення висоти магнітопроводів  $h_{мп} = 7,93$  мм, за якого забезпечується сила притягання 5000 Н (рис. 3). Зі збільшенням  $h_{мп}$  до 15 мм досягається максимальна сила 6258 Н. Збільшення  $h_{мп}$  понад 20 мм призводить до зростання магнітного опору магнітопроводів, зменшення магнітної індукції та, як наслідок, падіння сили притягання.

Таким чином можна стверджувати, що максимальні значення індукції досягаються в магнітопроводах висотою від 6 мм до 16 мм, а сила притягання зростає завдяки збільшенню площі контакту магнітної системи із корпусом.

Ексцентричне розміщення допоміжної системи в корпусі призводить до нерівномірного розподілу магнітного поля. Вивчення механізму взаємодії магнітного поля з корпусом проводилось на побудованій повнорозмірній моделі системи діаметром 110 мм. Аналіз векторного та скалярного розподілу магнітної індукції (рис. 4) дав змогу виявити нерівномірне насичення корпусу магнітними силовими лініями, розподіл індукції в магнітопроводах і корпусі та ділянки зі значним градієнтом магнітного поля.

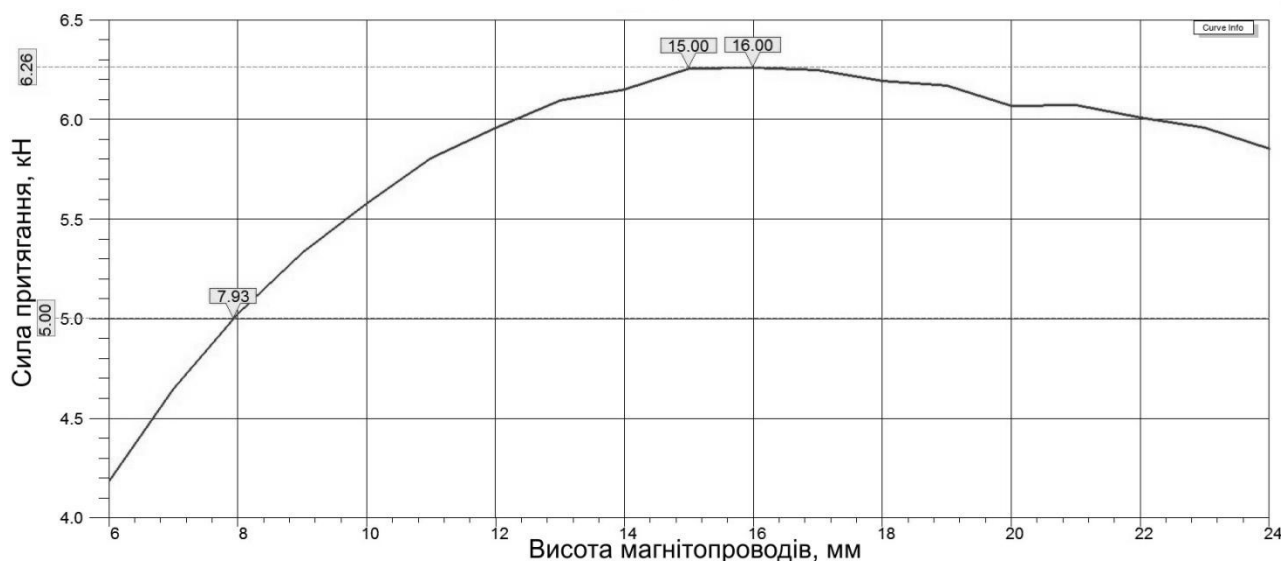


Рис. 3. Залежність сили притягання від висоти магнітопроводів

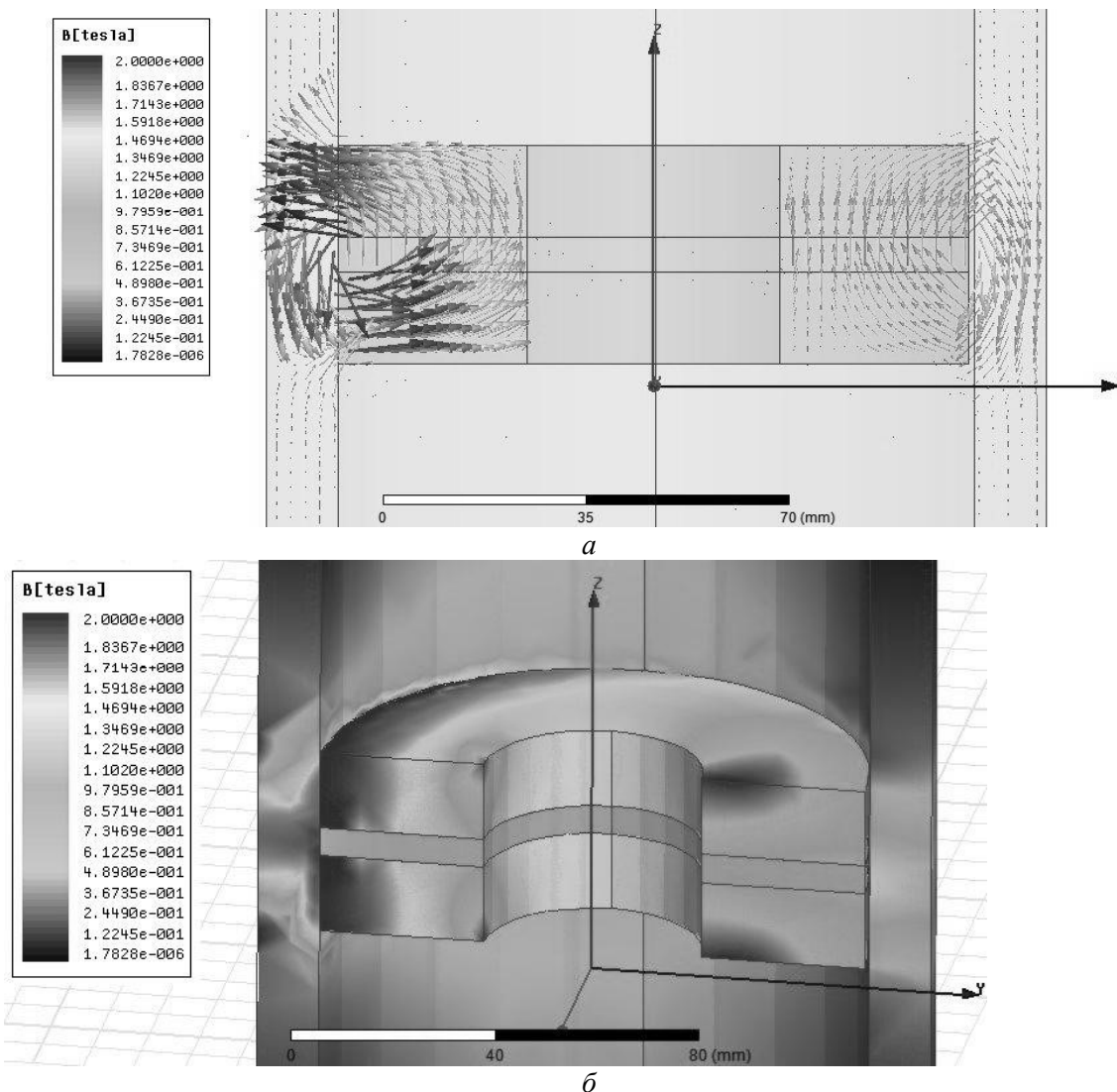
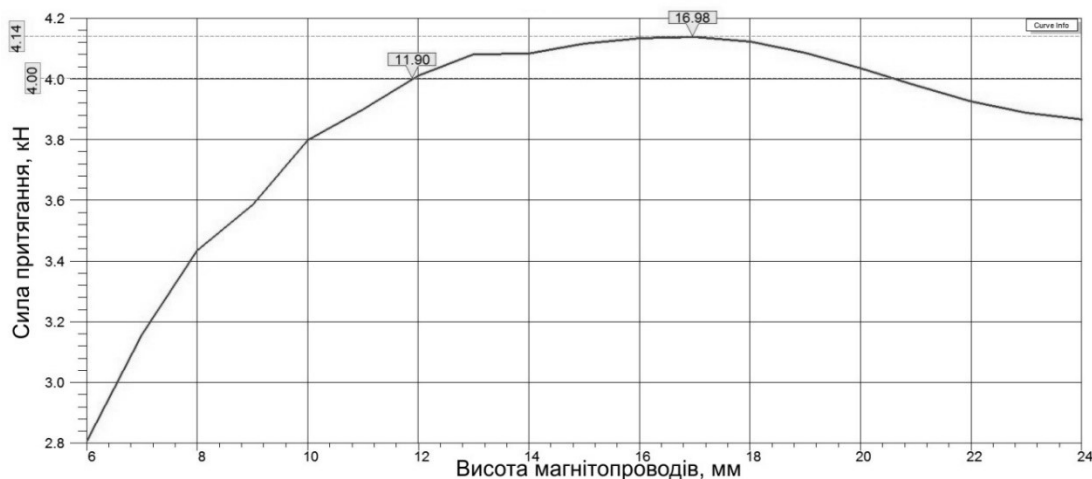


Рис. 4. Векторний (а) та скалярний (б) розподіл магнітної індукції в корпусі та допоміжній системі

Аналогічним чином встановлено раціональні розміри допоміжної системи фрезера-уловлювача магнітного із зовнішнім діаметром 112 мм. Максимальна сила притягання становить 4140 Н за висоти магнітопроводу 17 мм (рис. 5 а). Це менше за встановлену раніше для пристрою діаметром 136 мм вимогу в 5000 Н. Проте необхідно врахувати, що основна система даного фрезера теж буде розвивати меншу підймальну силу порівняно з пристроєм діаметром 136 мм. Тобто сили притягання в 4000 Н буде більш ніж достатньо для надійного вилучення всіх металевих предметів на поверхню.



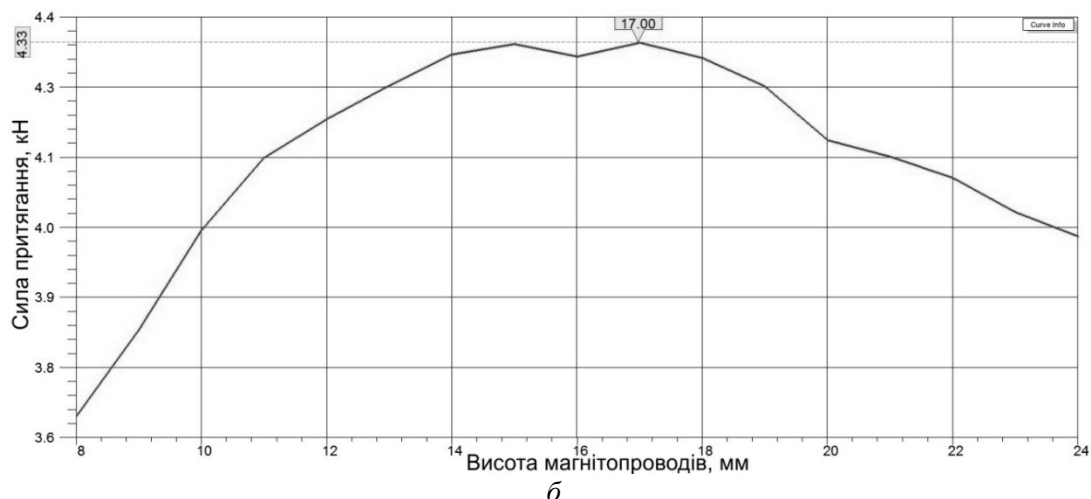


Рис. 5. Залежність сили притягання від висоти магнітопроводів: а – довжина магніту 6 мм;  
б – довжина магніту 8 мм

Для одержання такої сили потрібно компонувати систему магнітопроводами висотою не менше 12 мм (рис. 5 а). Встановлено також, що збільшення довжини магніту до 8 мм не призводить до суттєвого зростання сили притягання (рис. 5 б), тому використовувати магніти більшої довжини, ніж 6 мм нераціонально.

Одержані графічні залежності дають можливість визначити висоту магнітопроводів для будь-якого зусилля зсуву допоміжної системи діаметром 90 мм та 110 мм у визначених межах. За необхідності збільшення зусилля зсуву потрібно компонувати систему двома постійними магнітами і трьома магнітопроводами.

Геометричні розміри і силові показники проєктованих допоміжних магнітних систем наведено в табл.

Отже, розроблено конструкції фрезерів-уловлювачів з рухомою магнітною системою двох типорозмірів, які завдяки збільшенню робочої ділянки шляхом переміщення системи забезпечують повне очищення вибою свердловини від феромагнітних уламків. Суттєвою відмінністю пристроїв ФУМ від аналогічних є магнітний спосіб фіксації основної системи у робочому положенні. За допомогою тривимірного моделювання визначено раціональні розміри елементів систем і встановлено їх силові параметри.

### Параметри магнітних систем

Параметр	Типорозмір	
	ФУМ-112	ФУМ-136
Зовнішній діаметр корпусу $D_{кз}$ , мм	112	136
Внутрішній діаметр корпусу $d_{кз}$ , мм	91	111
Зовнішній діаметр магнітопроводів $D_{мп2}$ , мм	90	110
Зовнішній діаметр магнітів $D_{м}$ , мм	88	108
Внутрішній діаметр системи $d_{вн2}$ , мм	33	42
Висота магнітопроводів $h_{мп2}$ , мм	12	8
Довжина магнітів $l_{м2}$ , мм	6	6
Сила притягання $F_{пр2}$ , Н	4000	5000
Зусилля зсуву $F_{зс2}$ , Н	800	1000

Дано описание конструкции устройства с подвижной магнитной системой. Установлен механизм взаимодействия эксцентрично расположенной кольцевой магнитной системы с корпусом. Определены рациональные геометрические размеры кольцевых элементов систем, при которых достигается необходимое усилие перемещения.

**Ключевые слова:** забой скважины, фрезер-ловитель, магнитная система, постоянный магнит, усилие перемещения.

*The construction of the fishing tool with mobile magnetic system is described. The mechanism of interaction of off-center positioned annular magnetic system with the body is established. There are determined the rational geometric dimensions of the annular systems elements achieved the required shearing force.*

**Key words:** *bottom hole, fishing mill, magnetic system, permanent magnet, industrial testing, shearing force.*

#### Література

1. 1 Магнитные устройства для очистки скважин / Ю. А. Курников, И. Ф. Концур, М. Т. Кобылянский, Л. И. Романишин; под ред. Ю. А. Курникова. – Львов: Вища школа, 1988. – 108 с.
2. 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.: ИМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2011. — Вип. 14. — С. 125-129.
3. 3 Пат. 100087 Україна, МПК Е 21В 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. – Заявл. 14.07.2011; Опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21.
4. 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.: ИМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2013. — Вип. 16. — С. 160-164.
5. 5 Константинов О. Я. Расчет и конструирование магнитных и электромагнитных приспособлений / О. Я. Константинов. – Л.: Машиностроение, 1967. – 315 с.
6. 6 Верников А. Я. Магнитные и электромагнитные приспособления в металлообработке / А. Я. Верников. – М.: Машиностроение, 1984. – 160 с.

*Надійшла 26.06.15*

УДК 622.24.051, 622 ‘156

**О. П. Виноградова, С. Д. Заболотний, С. Ф. Беспалов, О. В. Мельничук**

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ІНДЕНТОРА З ГІРСЬКОЮ ПОРОДОЮ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ АЛМАЗНОГО ІНСТРУМЕНТУ

*В роботі представлено результати дослідження механізму заглиблення одиночного індентору в блок гірської породи в процесі його руйнування алмазним інструментом. Завдяки вивченню зони заглиблення індентору у блок гірської породи (у частинках продуктів руйнування гірських порід з різними фізико-механічними властивостями) зроблено висновок про циклічний характер взаємодії породоруйнівного індентору з блоком гірської породи до моменту відколювання частинки шламу.*

**Ключові слова:** *індентор, механізм руйнування гірських порід, заглиблення алмазу, шлам.*

Детальне вивчення механізму взаємодії одиночного породоруйнівного алмазного індентору з гірською породою дозволяє прогнозувати ступінь ефективності роботи бурового інструменту з високою зносостійкістю при зростанні його механічної швидкості.

Висновки про статичне навантаження алмазу і циклічний характер його роботи при бурінні, роблять Ісаєв М.І. і Пономарьов П.В., що вивчали процес руйнування гірських порід різними видами кристалів алмазів за допомогою кінограм [1]. Вони відзначають, що в результаті комбінованого впливу осьового та тангенціального навантажень створюється специфічне перетворення статичного навантаження в динамічне, при якому в кожній точці статичне навантаження прикладається до породи протягом часток мілісекунди, рис. 1 а, причому період навантаження на алмазне зерно не відповідає періоду його розвантаження, рис. 1 б.