

*Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu – Scientific Bulletin of the National Mining University, 2(158), 34-43 [in English].*

24. Kozhevnykov, A. O., Dreus, A. Yu., Baochang, Liu, et al. (2018). Vliianie skorosti tsirkuliacii burovogo rastvora na temperaturu kontakta pri burenii skvazhiny [Drilling fluid circulation rate influence on the contact temperature during borehole drilling]. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu – Scientific Bulletin of the National Mining University, 1(163), 35-43 [in English].*

УДК 622.24

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-126-133

**А. О. Ігнатов**, канд. техн. наук

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького,  
19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: [A\\_3000@i.ua](mailto:A_3000@i.ua)*

## **ЗАКОНОМІРНОСТІ РОБОТИ ЗАБІЙНОГО МЕХАНІЗМУ ПОДАВАННЯ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ГНУЧКОЇ КОЛОНИ БУРИЛЬНИХ ТРУБ**

*Методами конструкторського аналізу, лабораторних та теоретичних прийомів досліджень встановлені основоположні принципи роботи забійного пристрою створення осьового навантаження на породоруйнівний інструмент. В результаті проведення конструкторського і теоретичного аналізу встановлені основні принципи роботи як окремих вузлів забійного пристрою створення осьового навантаження, так і його в цілому. Розглянуті особливості протікання циркуляційних процесів при роботі проектного пристрою. Показана можливість оцінки ефективності роботи пристрою зі створення осьового навантаження на підставі порівняльного дослідження показників процесу буріння свердловин і насамперед питомої енергоємності, що характеризує витрати роботи на одиницю зруйнованої породи. Досліджені умови руйнування гірських порід при роботі пристрою у складі забійної компоновки колони гнучких труб, в результаті яких встановлено, що умови руйнування порід зазнають значного впливу у разі наявності у складі бурових промивальних рідин поверхнево-активних речовин. Показані перспективні можливості використання забійних механізмів створення осьового навантаження на породоруйнівний інструмент. Доведена необхідність розширення сфери застосування колони гнучких бурильних труб. Розширенню сфери застосування колони гнучких труб, і зокрема при бурових роботах, сприятиме розробка і впровадження забійних пристроїв створення осьового навантаження на породоруйнівний інструмент, одна з базових конструкцій яких розглядається в даній статті. Розроблений пристрій є ефективним механізмом створення осьового навантаження на породоруйнівний інструмент і дозволяє розширити можливості використання колони гнучких труб в бурових роботах. Конструктивні рішення, закладені в основу механізму функціонування пристрою, виступають базовими для подальших розробок в області проектування забійних компоновок створення осьового навантаження.*

**Ключові слова:** *колона гнучких бурильних труб, осьове навантаження, забійний пристрій, циркуляційні процеси, промивальна рідина.*

Використання колони гнучких труб є принципово новим напрямом в техніці будівництва свердловин. При цьому не сама ідея із застосування однієї суцільної безперервної колони замість зібраної з окремих труб є іноваційною, а реалізація схем працездатного устаткування в підземних умовах [1]. Реалізація схем працездатного устаткування стала можливою тільки після рішення наступних технічних завдань – створення колони гнучких труб, що має досить високу циклічну міцність, і промислового устаткування, що забезпечує виконання усіх необхідних технологічних операцій [2]. Між

тим, зазначені обставини практично не торкнулися питань розробки ефективних забійних пристроїв подачі породоруйнівного інструменту [3].

В результаті широкого узагальнення наявних матеріалів з питань створення і експлуатації механізмів подачі інструменту встановлено, що недоліками існуючих забійних регулювальників осьового навантаження є зайва складність конструкцій, неуніверсальність за призначенням і обмеженість по застосуванню; в той же час є цілком прийнятними шляхи спрощення конструкцій пристроїв, розширення їх функціональності і посилення експлуатаційної надійності, що забезпечує використання цих пристроїв в будь-яких гірничо-геологічних умовах, глибоких, спрямованих свердловинах, а також в компонованні з різними типами бурильних колон [3].

Конструктивно пристрій подачі інструменту має бути автономним за виконанням, захищеним від зім'яття при механічних діях, мати достатній ресурс роботи в рейсі, дозволяти проводити операції з ліквідації можливих ускладнень (наприклад, при звільненні забійного компоновання від прихвату), крім того, мати діафрагмові вузли для гідравлічного керування осьовим навантаженням, а також мати посилені опорно-центруючі елементи для забезпечення подовжньої стійкості конструкції [4].

Робота забійної компоновки повинна реалізувати принципи найменш енергоємних і ефективних способів руйнування масиву. Крім того, забійні механізми подачі інструменту повинні дозволяти ефективно керувати траєкторією свердловини, тобто максимально використовувати особливості конструкції колони гнучких труб. Керуючись тим, що будь-яке конструктивне удосконалення забійного приладу не повинно призводити до істотного ускладнення його експлуатаційних параметрів, можна намітити декілька можливих схем руйнування породи забою: обробка зони забою безпосередньо спеціалізованим породоруйнівним інструментом без автономного регулювання осьового зусилля, формування свердловини за рахунок дії на масив через породоруйнівний інструмент, зосереджене осьове навантаження, комбіновану схему руйнування, що включає в тій чи іншій мірі принципи перших двох.

Патентні дослідження засвідчують, що лише незначна кількість патентів стосується розробок, пов'язаних із можливістю реалізації забійних схем подавання інструменту для колони гнучких труб.

Мета статті – висвітлення принципів проектування пристроїв створення осьового навантаження та технології їх застосування при використанні гнучкої колони бурильних труб для спорудження свердловин.

У основу конструктивно-технологічної схеми розробки [5] поставлено завдання удосконалення пристрою для створення осьового навантаження, в якому принципово інше конструктивне та технологічне виконання робочих органів забезпечує: можливість його ефективного використання як у випадку застосування стандартних бурильних труб, так і безперервної бурильної колони при спорудженні та ремонті свердловини; умови отримання потрібних величин осьового зусилля при проходженні порід середнього та високого ступеня міцності; стабільність та ефективність акту руйнування порід; значне збільшення рейсової швидкості буріння; зниження зносу бурильних труб; за рахунок перелічених переваг пристрою досягається інтенсифікація процесу будівництва свердловини при зниженні загальних витрат.

Розроблений пристрій подавання (створення осьового навантаження) містить роз'ємний корпус, який за допомогою верхнього перехідника сполучений з бурильною колоною, а нижнього – із забійним двигуном, при цьому в корпусі виконані два великі і малі циркуляційні канали, після проходження яких потік промивальної рідини спрямовується через дроселі до забійного двигуна, а в робочій камері розміщуються шліцьові повзуни, оснащені поворотними пружинами, що зв'язують замочні елементи, до того ж переливні дроселя, що складаються з тарілчастих замочних елементів і пружин, служать для подачі

промивальної рідини в гідравлічні рухові блоки, призначені для приводу інструментальних ланцюгів, на внутрішньому контурі яких розміщені робочі зубки, а на зовнішній – врубів [4].

Оцінка ефективності роботи пристрою зі створення осьового навантаження можлива на підставі порівняльного дослідження показників процесу буріння свердловин і насамперед питомої енергоємності, що характеризує витрати роботи на одиницю зруйнованої породи; вона може бути визначена таким чином

$$E = \frac{2\pi M}{hS}, \quad (1)$$

де  $h$  – глибина занурення породоруйнівного елемента;  $M$  – крутний момент;  $S$  – розміри ділянки навантаження.

Формула 1 дозволяє, знаючи чисельні значення параметрів, що входять в неї, визначити загальну енергоємність процесу буріння і власне руйнування гірських порід.

В табл. 1 наведено результати дослідження впливу реалізованого на пристрої перепаду тиску на швидкість поглиблення свердловини; за базу порівняння були прийняті показники процесу поглиблення свердловини без застосування пристрою.

Таблиця 1. **Результати досліджень впливу перепаду тиску на пристрої на процес буріння при застосуванні колони гнучких труб**

№	Перепад тиску на пристрої, МПа	Середня швидкість буріння $V$ , мм/с	Приріст швидкості буріння, %
1	Без застосування пристрою	0,045	-
2	3,0	0,052	15
3	3,2	0,053	17
4	3,4	0,064	42
5	3,6	0,065	44
6	3,8	0,069	49

Аналіз даних табл. 1 дозволяє зробити наступні висновки: наявність в складі забійної компоновки проектного пристрою дозволяє значно підвищити швидкість поглиблення свердловини із застосуванням колони гнучких труб (в середньому на 30 – 35 %), причому існує тенденція подальшого збільшення швидкості поглиблення із зростанням реалізованого на пристрої перепаду тиску. Розрахунки показують, що за запропонованої конструктивної схеми пристрою для створення осьового навантаження гранично досяжним перепадом тиску є його значення в межах 4,5 – 5,0 МПа; саме цей показник визначає величину створюваного пристроєм осьового навантаження на породоруйнівний інструмент.

В табл. 2 наведено результати визначення крутного моменту на забійній частині колони гнучких труб та енергоємності руйнування порід; за базу порівняння були прийняті показники процесу поглиблення свердловини без застосування пристрою; у якості бурового агента застосовували воду.

Таблиця 2. **Результати визначення крутного моменту на забійній частині колони гнучких труб та енергоємності руйнування порід**

Породоруйнівний інструмент	Умови дослідження	Крутний момент, Нм	Енергоємність, Нм/см <sup>2</sup>
Шарошкове долото	Без застосування пристрою	54,8	0,215
	Із застосуванням пристрою	26,4	0,168

Аналіз отриманих даних (табл. 2) дає підставу зробити висновок про те, що застосування пристрою у складі забійної компоновки колони гнучких труб дозволяє майже в 2 рази знизити показники крутного моменту при одночасному істотному зниженні енергетичних показників руйнування. Отриманий результат є беззаперечно важливим з огляду на існуючий недолік колони гнучких труб, а саме необхідність дотримання низьких значень крутного моменту на колони гнучких труб та створення значних частот обертання, що компенсують недостатню величину осьового зусилля. Таким чином, роботою пристрою для створення навантаження виключається необхідність наявності значних обертів колони гнучких труб, зводяться до мінімуму ризики мимовільного і неконтрольованого скручування колони гнучких труб через істотне зниження реалізованого крутного моменту. Зміна умов експлуатації забійного двигуна (зменшення спрацювання перепаду тиску) призведе до загального зниження тиску у внутрішній частині колони гнучких труб, що також сприяє підвищенню надійності та строків безремонтної експлуатації колони гнучких труб [2].

Подальші дослідження були спрямовані на вивчення умов руйнування гірських порід при роботі пристрою у складі забійної компоновки колони гнучких труб. Було встановлено, що умови руйнування порід зазнають значного впливу у разі наявності у складі бурових промивальних рідин поверхнево-активних речовин (ПАР).

Промивальні рідини, що містять ПАР, проникають всередину мікротріщин, які утворюються на забої внаслідок впливу породоруйнівного інструменту, і під дією капілярного тиску мігрують по її стінках. Таке проникнення відбувається з досить великими швидкостями. Це пояснюється зниженням поверхневої енергії усередині тріщини під впливом адсорбції на величину  $\Delta\sigma$

$$\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma_z, \quad (2)$$

де  $\sigma_0$  – питома поверхнева енергія твердого тіла до адсорбції;  $\sigma_z$  – питома поверхнева енергія після адсорбції.

Поверхнево-активні речовини проникають вглиб мікротріщин до місць, де розміри тріщин дорівнюють розмірам молекул ПАР. У цих місцях утворюється лінійна межа поширення адсорбційного шару, на кожен одиницю довжини якої діє двовимірний тиск  $F$

$$F = 2\Delta\sigma K \cos \varphi / 2, \quad (3)$$

де  $\Delta\sigma K$  - коефіцієнт, що враховує лінійні розміри тріщини;  $\varphi$  - кут при вершині тріщини.

Під дією тиску  $F$  відбувається просування адсорбційних шарів углиб тріщини, через що відбувається її розклинювання з силою  $Q$

$$Q = \frac{F}{2 \sin \varphi / 2}. \quad (4)$$

Підставляючи у вираз 4 значення тиску  $F$ , отримаємо

$$Q = \frac{2\Delta\sigma K \cos \varphi / 2}{2 \sin \varphi / 2}. \quad (5)$$

Таке розклинювання шарами мікротріщин пропорційно зниженню поверхневої енергії при адсорбції усередині тріщини і воно тим більше, чим менший кут при вершині. Зовнішні зусилля сприяють розкриттю мікротріщин і збільшенню кількості проникаючих в них ПАР.

Приведена модель мікротріщини досить спрощена і насправді ускладнюється механо-хімічною активацією твердого тіла у вершині тріщини, а також дією зовнішніх чинників.

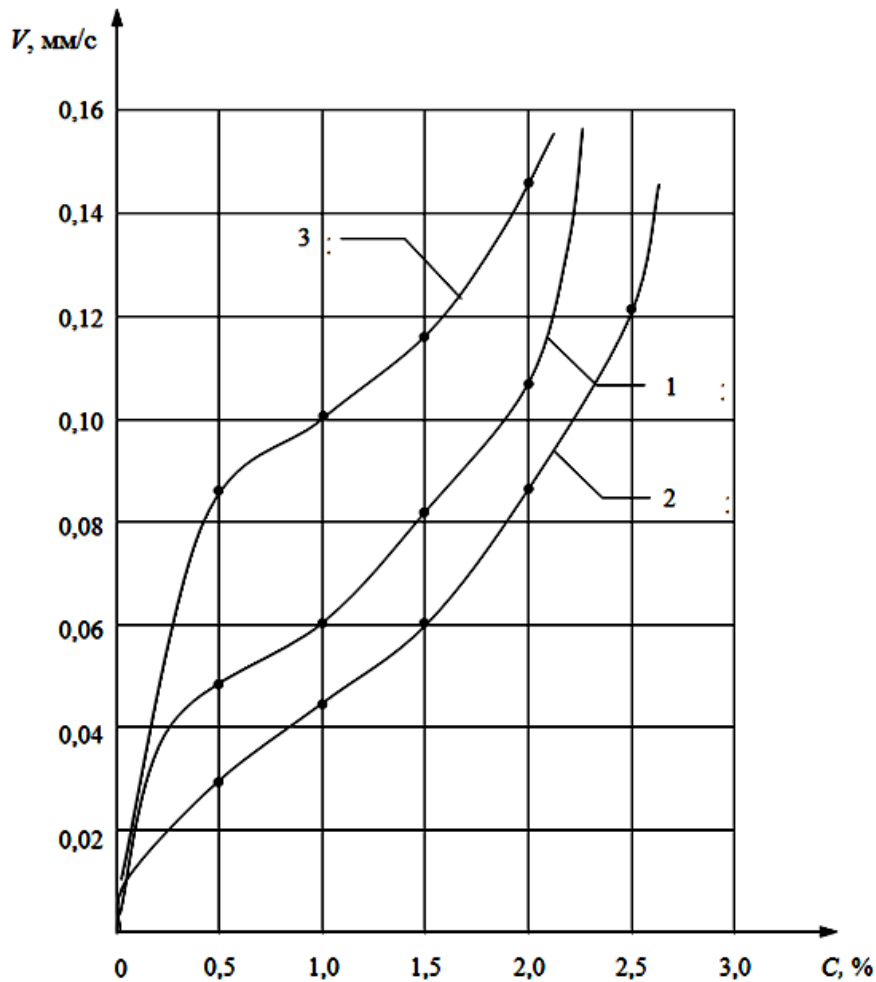


Рис. 1. Вплив ПАР у складі примивальних рідин на середню швидкість буріння (1 – ОП - 20; 2 – ОП - 10; 3 – сульфонол)

На рис. 1 приведені результати вивчення впливу ПАР (їх концентрації  $C$ , %) у складі промивальних рідин на середню швидкість буріння.

Аналіз даних рис. 1 свідчить про наявність стійкого впливу як концентрації  $C$  ПАР у складі промивальної рідини, так і хімічної активності (довжина молекулярних ланцюжків ПАР) – із їх збільшенням абсолютні значення швидкості буріння закономірно зростають.

На рис. 2 приведені результати вивчення впливу концентрації ПАР у складі примивальних рідин на комплексний показник  $E$  – енергоємності руйнування порід.

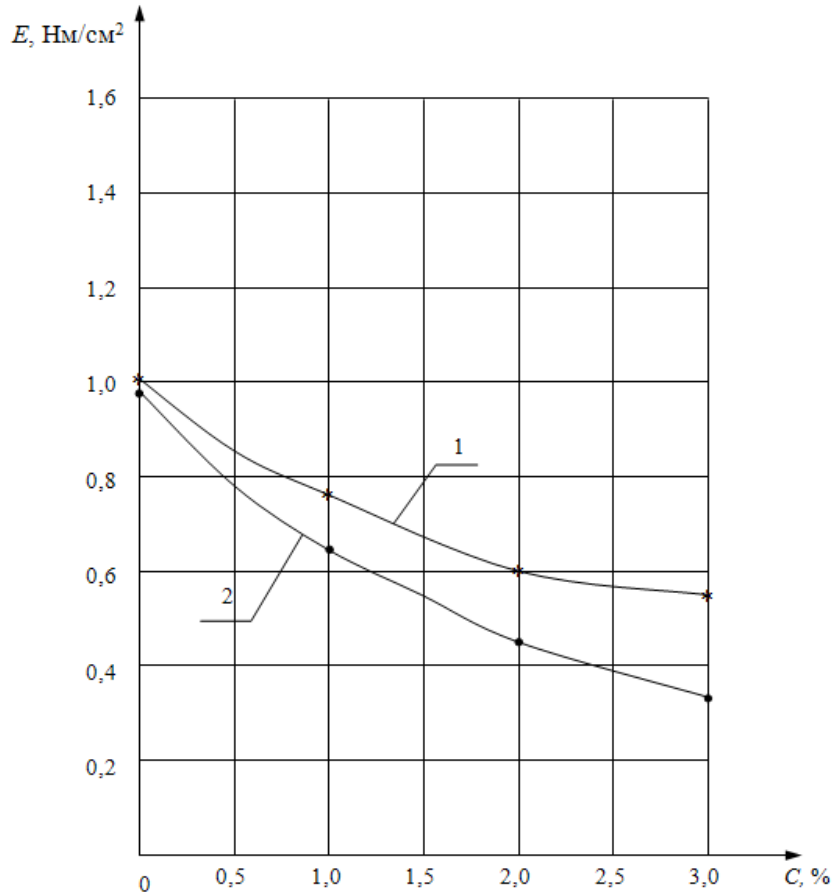


Рис. 2. Вплив ПАР у складі промивальних рідин на енергоємності руйнування порід (1 – ОП - 20; 2 – сульфону)

Аналіз даних рис. 2 також свідчить про існування істотного впливу концентрації  $C$  ПАР у складі промивальної рідини та якості самих речовин на середньозважені показники енергоємності руйнування порід; із збільшенням  $C$ , для даної ПАР, енергоємність процесу руйнування порід спадає за параболічною залежністю.

Таким чином, у якості загального висновку щодо застосування ПАР у промивальних рідинах при бурінні колони гнучких труб можна зазначити наступне: з метою істотного підвищення показників руйнування порід на забої свердловини та збільшення міжремонтного періоду колони гнучких труб введення до складу промивальних рідин ПАР є обов'язковим. Зазначена обставина є суттєвою лише за наявності у компоновці колони гнучких труб пристрою для створення осьового навантаження.

### Висновки

В результаті проведення аналітичного огляду, конструкторського і теоретичного аналізу встановлені основні вимоги до забійного пристрою створення осьового навантаження та розглянуто особливості протікання циркуляційних процесів при роботі окремих гідравлічних вузлів проектного пристрою.

Показана можливість оцінки ефективності роботи пристрою зі створення осьового навантаження на підставі порівняльного дослідження показників процесу буріння свердловин і насамперед питомої енергоємності, що характеризує витрати роботи на одиницю зруйнованої породи.

Досліджені умови руйнування гірських порід при роботі пристрою у складі забійної компоновки колони гнучких труб, в результаті яких встановлено, що умови руйнування

порід зазнають значного впливу у разі наявності у складі бурових промивальних рідин поверхнево-активних речовин (ПАР).

**A. O. Ihnatov**

*National technical university "Dnipro Polytechnic", Ukraine*

### **CONFORMITIES TO LAW WORK OF BACKWALL DEVICE ARE AT APPLICATION OF COILED TUBING**

*As a result of leadthrough designer and theoretical analysis basic principles of work are set as separate knots of backwall device creation axleloading, that and it on the whole. The features flowing of circulation processes are considered during work of the designed device. Possibility of estimation of efficiency of work of device is shown for creation of axleloading on the basis of comparative research of indexes of process of well-drilling and first of all specific power-hungryness which characterizes the expenses of work on unit of the blasted rock. The terms of destruction of rock are investigational during work of device in composition backwall of coiled tubing which it is set as a result of, that the terms of destruction of rocks test considerable influence in the case of presence in composition the borings washings liquids of surfactants. Perspective possibilities of the use backwall mechanisms creation of axleloading are rotined on a boring instrument. The necessity expansion of application column of coiled tubing domain is well-proven.*

*To expansion application of coiled tubing domain, and in particular at borings works, creation and introduction of backwall devices creation of axleloading will promote on a boring instrument, one of base constructions of which is examined in this article.*

*The developed device is the effective mechanism of creation of axleloading on a boring instrument and allows to extend possibilities the use of coiled tubing in borings works. Structural decisions stopped up in basis of mechanism of functioning device come forward base for further developments in area of planning backwall arrangements of creation of axleloading.*

**Key words:** *coiled tubing, axleloading, backwall device, circulation processes, washings liquids.*

*В результате проведения конструкторского и теоретического анализа установлены основные принципы работы как отдельных узлов забойного устройства создания осевой нагрузки, так и самого устройства в целом. Рассмотрены особенности протекания циркуляционных процессов при работе проектируемого устройства. Показана возможность оценки эффективности работы устройства для создания осевой нагрузки на основании сравнительного исследования показателей процесса бурения скважин и, в первую очередь, удельной энергоемкости, которая характеризует затраты работы на единицу разрушенной породы. Исследованы условия разрушения горных пород при работе устройства в составе забойной компоновки колонны гибких труб, в результате которых установлено, что условия разрушения пород испытывают значительное влияние в случае наличия в составе буровых промывочных жидкостей поверхностно-активных веществ. Показаны перспективные возможности использования забойных механизмов создания осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент. Доказана необходимость расширения области применения колонны гибких бурильных труб.*

**Ключевые слова:** *колонна гибких бурильных труб, осевая нагрузка, забойное устройство, циркуляционные процессы, промывочная жидкость.*

### **Література**

1. Калинин А.Г. Разведочное бурение / А.Г. Калинин, О.В. Ошкордин, В.М. Питерский и др. – М.: Недра–Бизнесцентр, 2000. – 748 с.
2. Вайншток С.М. Подземный ремонт и бурение скважин с применением гибких труб / С.М. Вайншток, А.Г. Молчанов, В.И. Некрасов и др. – М.: Изд-во Академии горн. наук, 1999. – 224 с.
3. Давиденко А.Н., Игнатов А.А. Абразивно-механическое ударное бурение скважин. – Дніпропетровськ: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2013. – 110 с.

4. Ігнатів А.О. Перспективи застосування гнучкої колони бурильних труб для буріння свердловин // Породорозрушаючий і металлооброблювальний інструмент - техніка і технологія його виготовлення і застосування. – 2018, Вип. 21. – С. 132 – 139.
5. Патент на винахід № 114966 Україна МПК E21B 19/08 (2006.01). Пристрій для створення осевого навантаження / А.О. Ігнатів. – Опубл. 10.05.17, Бюл. № 9.

Надійшла 01.07.19

### References

1. Kalinin, A. G., Oshkordin, O. V., Pitserskiy V. M. et al. (2000). *Razvedochnoe burenie [Prospecting boring drilling]*. Moscow: Nedra – Biznestsentr [in Russian].
2. Vainshtok, S. M., Molchanov, A. G., Nekrasov, V. I. et al. (1999). *Podzemnyi remont i burenie skvazhin s primeneniem gibkikh trub [Underground repair and well-drilling with the use of coiled tubing]*. Moscow: Academy of mining sciences [in Russian].
3. Davidenko, A. N., & Ihnatov, A. A. (2013). *Abrazivno-mekhanicheskoe udarnoe burenie skvazhin [Abrasive-mechanical blowing well-drilling]*. Dnipropetrovsk: NMU [in Russian].
4. Ihnatov, A. O. (2018). *Perspektyvy zastosuvannia hnuchkoi kolony burylnykh trub dlia burinnia sverdlovyn [Perspectives application of coiled tubing in bore holes]. Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools-Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, Vol. 21, 132 – 139.*
5. Ihnatov, A. O. (2017). Patent of Ukraine 114966.

УДК 622.248.33

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-133-148

**М. М. Студент**, д-р техн. наук<sup>1</sup>, **Г. В. Похмурська**, д-р техн. наук<sup>2</sup>, **А. К. Судаков**, д-р техн. наук<sup>3</sup>, **А. Р. Дзюбик**, **А. А. Войтович**, кандидати техн. наук<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, 79060, м. Львів, E-mail: [muhajlo@ipm.lviv.ua](mailto:muhajlo@ipm.lviv.ua)

<sup>2</sup>Національний університет “Львівська політехніка” вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів, E-mail: [zvdy.dept@lpnu.ua](mailto:zvdy.dept@lpnu.ua)

<sup>3</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, Дніпр, E-mail: [sudakovy@ukr.net](mailto:sudakovy@ukr.net)

## МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШАРІВ, НАПЛАВЛЕНИХ ЗА ДІЇ МЕХАНІЧНОЇ ВІБРАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ

Вперше встановлено закономірності впливу напрямку та амплітуди механічної вібрації підкладки на структурно-фазовий склад, морфологію та розміри зміцнювальних включень у структурі шарів, наплавлених економнолегованими порошковими дротами (ПД) системи Fe-Cr-B-C під шаром флюсу. Встановлено, що механічна вібрація змінює фазовий склад наплавленого шару, кількість фази FeCrB зменшується, а фази FeCr<sub>2</sub>B зростає. Оптимізовано параметри вібрації підкладки під час наплавлення її поверхні для модифікації структури наплавленого металу і досягнення максимальної зносостійкості.

Вперше запропоновано подрібнювати боридні включення в структурі наплавлених шарів шляхом додавання до складу шихти ПД системи Fe-Cr-B-C порошку ПАМ (60 % Al 40 % Mg). Встановлено, що після додавання 1 мас. % порошку диспергування зміцнювальної боридної фази збільшується у 7 разів.

Вперше встановлено, що за наявності в шихті ПД 80X20P3T порошку ПАМ в структурі наплавленого шару виділяються дрібнодисперсні (до 1 мкм) включення складнолегованих нітридів, які відчутно підвищують мікротвердість (в 1,2 рази) і, відповідно, зносостійкість (у 1,5 рази) наплавлених