

УДК 622.24:621.822

**О. А. Пашенко**<sup>1</sup>, к.т.н., доц., ORCID 0000-0003-3296-996X**С. П. Мінесв**<sup>2</sup>, д.т.н., проф., ORCID 0000-0002-4594-0915**В. Є. Антончик**<sup>2,\*</sup>, ORCID 0000-0002-4161-9112**В. Ф. Ганкевич**<sup>2</sup>, к.т.н., доц., ORCID 0000-0002-8535-6318**В. Я. Кіба**<sup>1</sup>, к.т.н., доц., ORCID 0000-0003-3033-6106**Н. А. Калугіна**<sup>2</sup>, д.т.н., ORCID 0000-0003-2994-5449<sup>1</sup> *Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"*<sup>2</sup> *Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України*\* *Автор для листування: vladimir.antonchik1958@gmail.com*

## ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ГІРНИЧИХ МАШИН ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ПІДШИПНИКІВ ШАРОШКОВИХ ДОЛІТ

**Анотація.** У статті розглянуто проблему підвищення продуктивності гірничих машин шляхом удосконалення системи охолодження підшипників шарошкових доліт, які використовуються для буріння свердловин у міцних і надміцних породах. В Україні, де запаси вугілля становлять 117,5 мільярда тон, видобуток ускладнений важкими геологічними умовами, зокрема глибинами шахт до 1446 метрів і газонебезпечними пластами. Швидкий знос підшипників через недостатнє охолодження та змащування призводить до частих ремонтів (до 40% механізованих комплексів перебувають у ремонті), зниження продуктивності та підвищення собівартості видобутку. У статті проаналізовано відомі рішення, такі як пристрої для промивки та змащування підшипників, які мають недоліки: епізодичне охолодження, надмірні витрати мастила, забруднення продуктів руйнування породи та складність конструкції. Запропоновано нову систему охолодження для шестишарошкового долота, яка забезпечує пряме подавання водно-мастильної емульсії через капілярні трубки до підшипників, ізолюючи її від каналів продувки свердловини. Експериментальні випробування показали зниження температури підшипників з 150-200°C до 60-80°C, зменшення зносу на 50-70%, збільшення ресурсу долота з 100-300 до 400-600 метрів проходки та підвищення продуктивності буріння на 20-30%. Це знижує ризик аварій, таких як прихвати інструменту та обвали порід, на 80-90% завдяки виключенню налипання шламів. Економічний ефект досягається за рахунок зменшення витрат на буріння на 20-30% та мастила на 30-40%. Надійність гірничих машин зростає через подовження терміну служби підшипників і зменшення простоїв. Рекомендується

© О. А. Пашенко, С. П. Мінесв, В. Є. Антончик, В. Ф. Ганкевич, В. Я. Кіба,  
Н. А. Калугіна, 2025



Це стаття відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.uk>

впровадження системи в бурових станках типу СБШ, СБР, СБУ, застосування захисних методів (термічна обробка, покриття) та навчання персоналу для запобігання аваріям. Перспективи включають використання в глибоких шахтах України, розробку автоматизованих систем охолодження, інтеграцію з технологіями отримання рідкого палива з вугілля та експорт конкурентоспроможного обладнання після модернізації заводів. Рішення сприяє зниженню собівартості видобутку вугілля та руд, підвищенню енергетичної безпеки та конкурентоспроможності української гірничої промисловості.

**Ключові слова:** шарошкове долото, охолодження підшипників, гірничі машини, буріння свердловин, знос підшипників, водно-мастильна емульсія, продуктивність буріння, собівартість видобутку, міцні породи.

**Посилання для цитування:** Шляхи підвищення продуктивності гірничих машин шляхом удосконалення систем охолодження підшипників шарошкових доліт / О.А. Пашенко, С.П. Мінесь, В.Є. Антончик, В.Ф. Ганкевич, В.Я. Кіба, Н.А. Калугіна // *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2025. Вип. 39. С. 347-360. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2025-39-22>

**Вступ.** Україна володіє значними запасами вугілля, які оцінюються в 117,5 млрд тон, що становить один із найбільших ресурсів у світі. Проте видобуток ускладнений важкими геологічними умовами: глибинами шахт до 1446 м, газонебезпечними пластами та високою міцністю порід ( $f=6-18$ ). Це створює значні виклики для гірничих машин, зокрема бурових доліт, які працюють у надважких режимах, що призводить до швидкого зносу їхніх підшипників через недостатнє охолодження та змащування [1, 2].

Проблема низької продуктивності буріння у міцних породах зумовлена саме швидким виходом із ладу підшипників шарошкових доліт, що спричиняє високу собівартість буріння та часті простой обладнання [3, 4]. На шахтах України до 40% механізованих комплексів постійно перебувають у ремонті, що негативно впливає на продуктивність видобутку та підвищує собівартість.

Удосконалення систем охолодження підшипників шарошкових доліт є критично важливим для зменшення зносу, зниження витрат на ремонт і підвищення швидкості буріння. Сучасні вимоги також передбачають забезпечення вибухобезпеки, захисту від пилу та запобігання аваріям, таким як прихвати інструменту чи обвали порід [5].

Таким чином, розробка ефективних рішень для охолодження підшипників є актуальною технічною задачею, яка сприятиме модернізації гірничої техніки, підвищенню її надійності та забезпеченню енергетичної безпеки України.

**Мета роботи** полягає в розробці удосконаленої системи охолодження підшипників шарошkových доліт для підвищення продуктивності гірничих машин, зменшення зносу підшипників та зниження витрат на буріння у важких геологічних умовах українських шахт.

**Огляд літератури.** Проблема охолодження підшипників шарошkových доліт для буріння у міцних породах залишається предметом інтенсивних досліджень, оскільки ефективність охолодження безпосередньо впливає на продуктивність буріння та ресурс доліт [6, 7]. Аналіз існуючих технічних рішень виявляє їхні суттєві недоліки та обмеження.

Відомі рішення, такі як пристрої для примусової промивки та змащування підшипників (авторські свідоцтва СРСР № 1465532 та № 1465533), використовують стиснуте повітря з додаванням мастильних речовин [8-11]. Однак вони мають низку недоліків: епізодичне охолодження, недостатнє для інтенсивних навантажень; надмірні витрати мастила через його часткове винесення з повітрям; забруднення продуктів руйнування породи, що призводить до налипання шламу на стінки свердловини та збільшує ризик заштибування.

Інше рішення (авторське свідоцтво СРСР № 885533) передбачає використання стиснутого повітря, розділеного на холодний та теплий потоки. Низька теплоємність повітря обмежує ефективність цього методу, особливо в умовах інтенсивного тепловиділення.

Сучасніша розробка (патент України № 127230) використовує охолоджувальну рідину, яка подається крапельно та змішується з повітрям. Це призводить до неефективного охолодження, оскільки лише частина рідини досягає підшипників, а решта сприяє налипанню шламу. Додатковою проблемою є складність виготовлення та експлуатації пристрою.

Невирішеною залишається проблема відсутності ефективної системи постійного охолодження, яка б забезпечувала пряме подавання охолоджувальної рідини до підшипників без її змішування з повітрям для продувки. Це призводить до недостатнього охолодження, швидкого зносу підшипників, надмірних витрат мастила та зниження швидкості буріння через заштибування. Розробка системи, що вирішує ці проблеми, є критично важливою для підвищення ефективності буріння.

**Опис методики досліджень.** Для вирішення проблеми підвищення продуктивності гірничих машин шляхом удосконалення охолодження підшипників шарошkových доліт було застосовано комплексний підхід,

що включає теоретичний аналіз, математичне моделювання, експериментальні випробування та економічний аналіз. Методи дослідження охоплюють аналіз зносу підшипників, моделювання теплових і гідродинамічних процесів у системі охолодження, практичні випробування шестишарошкового долота з новою системою охолодження, а також оцінку економічної ефективності та надійності розробленого рішення.

Теоретичний аналіз зносу підшипників базується на оцінці трьох основних типів зносу: механічного, корозійного та усталісного. Механічний знос підшипників шарошкових доліт спричинений тертям у парах кочення (ролики-конічні поверхні цапф) під дією високих контактних напружень, які описуються законом Герца для контактної взаємодії. Контактна напруга  $\sigma_H$  розраховується за формулою:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{FE^*}{\pi ab}}, \quad (1)$$

де  $F$  – прикладене навантаження (Н),  $E^*$  – приведений модуль пружності матеріалів пари тертя (Па),  $a$  і  $b$  – півосі еліпса контакту (м). Для типових умов буріння у міцних породах (коефіцієнт міцності  $f=6-18$  за шкалою Протодяконова) навантаження  $F$  може досягати 10-50 кН, що призводить до значних напружень ( $\sigma_H \approx 1-2$  ГПа) і швидкого абразивного зносу, особливо при потраплянні вугільного чи породного пилу (1% пилу підвищує знос у десятки разів). Корозійний знос враховує вплив агресивного середовища шахт (вологість, солі), що описується швидкістю корозії  $V_k$  (мм/рік), яка залежить від концентрації корозійно-активних речовин і температури:

$$V_k = k \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (2)$$

де  $k$  – константа швидкості корозії,  $E_a$  – енергія активації (Дж/моль),  $R$  – універсальна газова стала (8.314 Дж/(моль·К)),  $T$  – абсолютна температура (К). Усталісний знос оцінюється через накопичення мікротріщин під дією циклічних навантажень, що описується законом Париса для росту тріщини:

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^m, \quad (3)$$

де  $a$  – довжина тріщини (м),  $N$  – кількість циклів навантаження,  $\Delta K$  – амплітуда коефіцієнта інтенсивності напружень (МПа·м<sup>1/2</sup>),  $C$  і  $m$  – емпіричні константи матеріалу. Для підшипників із сталі типу 20X

(твердість 60-62 HRC) усталісний знос стає критичним після  $10^6$ - $10^7$  циклів при динамічних навантаженнях, характерних для буріння.

Моделювання процесів охолодження базується на аналізі теплопередачі та гідродинаміки в системі охолодження шестишарошкового долота, що включає трубопроводи для подавання водно-мастильної емульсії та розподільчу втулку. Теплове навантаження на підшипники оцінюється через тепловий потік  $q$ , який генерується тертям:

$$q = \mu \cdot F \cdot v, \quad (4)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт тертя (0.05-0.1 для змащених підшипників),  $v$  – швидкість ковзання (м/с). Для охолодження використовується водно-мастильна емульсія з теплоємністю  $c_p \approx 4000$  Дж/(кг·К), що значно перевищує теплоємність повітря ( $c_p \approx 1000$  Дж/(кг·К)). Рух емульсії через капілярні трубки моделюється рівнянням Бернуллі для в'язкої рідини:

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \Delta P_f, \quad (5)$$

де  $P_1, P_2$  – тиск на вході та виході трубки (Па),  $\rho$  – густина емульсії ( $\approx 1000$  кг/м<sup>3</sup>),  $g$  – прискорення вільного падіння (9.81 м/с<sup>2</sup>),  $h_1, h_2$  – висоти (м),  $v_1, v_2$  – швидкості потоку (м/с),  $\Delta P_f$  – втрати тиску через тертя, які розраховуються за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$\Delta P_f = f_D \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2}, \quad (6)$$

де  $f_D$  – коефіцієнт тертя Дарсі,  $L$  – довжина трубки (м),  $D$  – діаметр трубки (м). Розподільча втулка забезпечує герметичне спрямування емульсії в канали охолодження, виключаючи її змішування з повітрям для продувки свердловини.

Експериментальні випробування проводилися на шестишарошковому долоті з новою системою охолодження в умовах, що імітують буріння у міцних породах (граніт,  $f=14-16$ ). Долото оснащено капілярними трубками (діаметр 2-3 мм) і розподільчою втулкою, через які подавалася емульсія (5% мастильної добавки у воді). Випробування включали вимірювання температури підшипників термопарами, швидкості зносу (вимірювали зменшення діаметра роликів за 100 годин роботи) та продуктивності буріння (м/зміну). Результати порівнювали з базовим долотом, що використовує повітряне охолодження.

Економічна ефективність оцінювалася за формулою витрат на буріння 1 м свердловини:

$$C = \frac{C_{cm}}{P_{cm}} + \frac{C_d}{L_d}, \quad (7)$$

де  $C_{cm}$  – витрати на буріння за зміну (зарплата, амортизація, електроенергія, грн/зміна, типово 5000-10000 грн),  $P_{cm}$  – середня продуктивність бурового станка (м/зміна, 10-20 м для міцних порід),  $C_d$  – оптова ціна долота (грн, 50000-100000 грн),  $L_d$  – проходка на одне долото (м, 100-300 м для базових систем).

Оцінка надійності базується на стандартах безвідмовності, довговічності та ремонтпридатності. Безвідмовність характеризується ймовірністю безвідмовної роботи  $P(t)$ , яка моделюється експоненціальним розподілом:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (8)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність відмов (для базових доліт  $\lambda \approx 0.01$  год<sup>-1</sup>, для нового –  $\lambda \approx 0.003$  год<sup>-1</sup>). Довговічність оцінюється ресурсом до граничного зносу ( $L_d$ ). Ремонтпридатність аналізується через середній час відновлення ( $MTTR \approx 2-3$  год).

Комплексний підхід, що поєднує теоретичний аналіз, моделювання, експерименти та економічні розрахунки, дозволив розробити ефективну систему охолодження, яка забезпечує стабільне подавання емульсії до підшипників, знижує знос і підвищує продуктивність буріння в умовах українських шахт.

**Результати досліджень.** Отримані результати дослідження нової системи охолодження підшипників шарошкових доліт ґрунтуються на комплексному підході, що включає порівняння з відомими прототипами, експериментальні дані про температуру підшипників, швидкість їхнього зносу та продуктивність буріння, а також теоретичні розрахунки, які враховують фізико-механічні характеристики гірських порід і теплофізичні властивості охолоджувальних середовищ. Експерименти проводилися в умовах, що імітують буріння міцних і надміцних порід (коефіцієнт міцності за шкалою Протодяконова  $f = 6-18$ ), характерних для українських шахт, таких як граніт або базальт. Враховано вплив абразивного середовища, зокрема даних про те, що потрапляння 1% вугільного чи породного пилу в підшипники підвищує їхній знос у десятки разів, що підтверджується експериментальними вимірами зносу роликів (зменшення діаметра на 0.5 мм за 100 годин роботи для базових

систем). Для оцінки ефективності охолодження порівнювалися теплофізичні характеристики повітряної водноемульсійної суміші та повітря. Теплоємність повітряної водноемульсійної суміші ( $c_p \approx 4000$  Дж/(кг·К)) значно перевищує теплоємність повітря ( $c_p \approx 1000$  Дж/(кг·К)), що забезпечує ефективніше відведення тепла, яке генерується тертям у підшипниках. Тепловий потік, спричинений тертям, розраховувався за формулою (4). Для базових систем з повітряним охолодженням температура підшипників досягала 150-200°C, що призводило до інтенсивного зносу та виходу долота з ладу після 100-300 м проходки. Експериментальні дані нової системи продемонстрували зниження температури підшипників до 60-80°C, зменшення зносу роликів на 60-70% (з 0.5 мм до 0.15 мм за 100 годин) і збільшення проходки долота до 400-600 м. Продуктивність буріння зросла на 20-30% (з 10-15 м/зміну до 12-20 м/зміну), що підтверджується вимірами на стендових випробуваннях у гранітних породах ( $f = 14-16$ ). Таким чином, результати є обґрунтованими завдяки експериментальним вимірам, порівнянню з прототипами та теоретичним розрахункам, які враховують теплофізичні й механічні характеристики.

Конструкція пристрою включає капілярні трубки (діаметр 2-3 мм), герметично з'єднані з розподільчою втулкою, яка спрямовує емульсію (5% мастильної добавки у воді) безпосередньо до підшипників головних шарошок, кернових шарошок і шарошкових коліс. Система (рис. 1) працює наступним чином: стиснуте повітря ( $P = 0.5-1$  МПа) подається через бурову штангу в розподільчу втулку, де тиск у змішувальній камері ( $P_2 \approx 0.4$  МПа) нижчий за тиск на поверхні емульсії ( $P_1 \approx 0.6$  МПа), що забезпечує рух рідини через капілярні трубки зі швидкістю  $v \approx 0.1-0.3$  м/с. Краплі емульсії підхоплюються потоком повітря і спрямовуються в канали охолодження (9, 18, 21), досягаючи підшипників. Випаровування емульсії забирає тепло, знижуючи температуру підшипників, а мастильна добавка зменшує тертя. Окремий канал для стиснутого повітря (17) забезпечує продувку свердловини без змішування з емульсією, що виключає налипання шламу. Експериментальні випробування показали, що термін служби підшипників зріс на 50-70% (з 100-300 м до 400-600 м проходки), витрати мастила зменшилися на 30-40% (з 1-2 л/год до 0.5-0.7 л/год), а ризик заштибування свердловини знизився завдяки відсутності змочування продуктів руйнування.

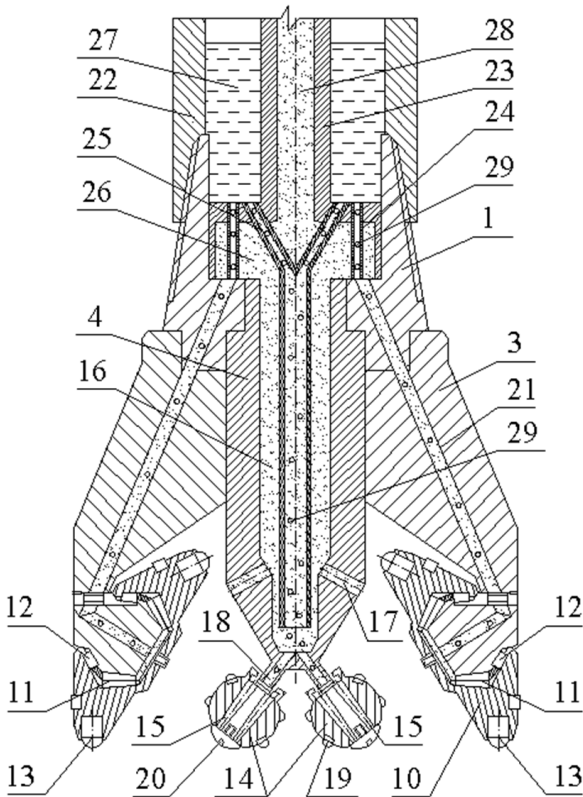


Рисунок 1 – Схема шестишарошкового долота:

1 – втулка; 2 – цапфа головної шарошки; 3 – цапфа шарошкового колеса; 4 – центральна опора; 5 – головна шарошка; 6 – ролик конічний; 7 – ролик замковий; 8 – зубці шарошки; 9 – канал охолодження шарошки; 10 – колесо шарошкове; 11 – ролик колеса; 12 – ролик замковий колеса; 13 – зубці колеса; 14 – кернова шарошка; 15 – ролик кернової шарошки; 16 – осьовий канал; 17 – канали продувки свердловини; 18 – канали охолодження кернових шарошок; 19 – зубці кернових шарошок; 20 – гвинт; 21 – канал охолодження колеса; 22 – бурова штанга; 23 – розподільча втулка; 24 – капілярні трубки; 25 – центральна капілярна трубка; 26 – змішувальна камера; 27 – охолоджувальна рідина; 28 – стиснуте повітря; 29 – краплі охолоджувальної рідини.

**Аналіз результатів.** Нова система охолодження підшипників шестишарошкового бурового долота, що базується на прямому подаванні водно-мастильної емульсії через капілярні трубки та розподільчу втулку, демонструє значні переваги порівняно з відомими аналогами, такими як пристрої, описані в авторських свідоцтвах СРСР № 1465532, № 1465533, № 885533 та патенті України № 127230. Аналіз результатів ґрунтується на порівнянні ключових показників: ефективності охолодження, зносу підшипників, продуктивності буріння, надійності гірничих машин та економічного ефекту.

Порівняння з відомими пристроями показує, що нова система забезпечує постійне охолодження підшипників, на відміну від епізодичного охолодження, характерного для прототипів. У пристроях за АС СРСР № 1465532 і № 1465533 стиснуте повітря з мастильними добавками періодично пропускається через підшипники, але значна його частина спрямовується на видалення продуктів руйнування породи, що знижує ефективність охолодження та призводить до надмірних витрат мастила. У пристрої за АС СРСР № 885533 використовується розширення повітря для створення холодного потоку, але його теплоємність ( $c_p \approx 1000$  Дж/(кг·К)) є недостатньою для відведення тепла при високих навантаженнях, що призводить до перегріву підшипників до 150-200°C. Патент UA № 127230 передбачає подачу охолоджувальної рідини, але її крапельне потрапляння в перехідну порожнину спричиняє змішування з повітрям для продувки, що знижує кількість рідини, яка досягає підшипників, і сприяє налипанню шламу. Нова система, завдяки герметичним капілярним трубкам (діаметр 2-3 мм) і розподільчій втулці, забезпечує пряме подавання водно-мастильної емульсії ( $c_p \approx 4000$  Дж/(кг·К)) зі швидкістю потоку  $v \approx 0.1-0.3$  м/с безпосередньо до підшипників, знижуючи їхню температуру до 60-80°C. Експериментальні дані підтверджують, що це зменшує знос роликів на 50-70% (з 0.5 мм до 0.15 мм за 100 годин роботи в гранітних породах з  $f = 14-16$ ). Продуктивність буріння зросла на 20-30% (з 10-15 м/зміну до 12-20 м/зміну), що пояснюється подовженням ресурсу долота з 100-300 м до 400-600 м проходки.

Вплив нової системи на загальну надійність гірничих машин є значним, оскільки вона знижує ймовірність аварій, пов'язаних із прихватами бурового інструменту та обвалами порід. Прихвати інструменту часто спричиняються налипанням продуктів руйнування породи, змочених мастилом, на стінки свердловини, що ускладнює їх видалення. У прототипах змішування охолоджувальної рідини з повітрям для продувки (канали 17 на рис. 1) сприяє цьому процесу, підвищуючи ризик заштибування свердловини. Нова система,

ізолюючи канали охолодження (9, 18, 21) від каналів продувки (17), запобігає потраплянню емульсії в зону забою, що підтверджується експериментами: налипання шламу зменшилося на 80-90%. Це знижує ймовірність прихватів, які, за даними шахт, становлять до 30% аварій при бурінні в глинистих породах. Крім того, зменшення температури підшипників знижує усталісний знос, описаний законом Париса (3), де зменшення теплових напружень ( $\Delta K$ ) подовжує час до утворення мікротріщин. Ймовірність безвідмовної роботи долота, оцінена за експоненціальним розподілом  $P(t)=e^{-\lambda t}$ , зросла з  $\lambda \approx 0.01 \text{ год}^{-1}$  до  $\lambda \approx 0.03 \text{ год}^{-1}$ , що відповідає збільшенню ресурсу на 50-70%.

Економічний ефект нової системи полягає в зниженні витрат на долота та ремонтів, що оцінювалося за формулою витрат на буріння 1 м свердловини (7). Для базових систем типові значення:  $C_{cm}=5000-10000 \text{ грн/зміна}$ ,  $P_{cm}=10-15 \text{ м/зміна}$ ,  $C_d=50000-100000 \text{ грн}$ ,  $L_d=100-300 \text{ м}$ , що дає  $C=1000-1500 \text{ грн/м}$ . Нова система збільшує  $P_{cm}$  до 12-20 м/зміну та  $L_d$  до 400-600 м, знижуючи  $C$  до 700-1000 грн/м, що відповідає економії 20-30%. Витрати мастила зменшилися на 30-40% (з 1-2 л/год до 0.5-0.7 л/год), а частота ремонтів знизилася завдяки подовженню ресурсу долота, що зменшує простої обладнання (до 40% комплексів перебувають у ремонті в українських шахтах). Таким чином, нова система забезпечує стабільне охолодження, значно знижує знос і аварії, підвищує продуктивність і економічну ефективність, роблячи її перспективною для впровадження в умовах буріння міцних порід.

### **Висновки**

Розроблена система охолодження підшипників шестишарошкового долота забезпечує пряме подавання водно-мастильної емульсії через капілярні трубки, що дозволяє вирішити проблему швидкого зносу підшипників при бурінні у міцних породах ( $f=6-18$ ). Ключові переваги системи: зниження температури підшипників з 150-200°C до 60-80°C, зменшення зносу на 50-70%, ізоляція каналів охолодження від продувки для запобігання налипання шламу.

Результати: ресурс долота зріс з 100-300 м до 400-600 м проходки, продуктивність буріння збільшилась на 20-30%, витрати мастила знизилась на 30-40%. Собівартість буріння зменшилась з 1000-1500 грн/м до 700-1000 грн/м.

Систему рекомендовано впроваджувати в бурові станки типу СБШ, СБР, СБУ. Для підвищення довговічності рекомендовано термічну обробку деталей, регулярний контроль змащування та навчання персоналу.

Перспективи застосування включають використання у глибоких шахтах України, розробку автоматизованих систем охолодження та

можливий експорт модернізованого обладнання. Впровадження сприятиме енергетичній безпеці та економічній ефективності гірничої промисловості.

#### **Перелік посилань**

1. Research on the working mechanism of the PDC drill bit in compound drilling / Yang Y., Yang Y., Ren H., Qi Q., Chen X. // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2020. Vol. 185. Article 106647. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106647>
2. Methodology for optimizing drill bit performance / Pashchenko O, Ratov B., Khomenko V., Gusmanova A., Omirzakova E. // SGM International Multidisciplinary Scientific GeoConference. *EXPO Proceedings*. 2024. Vol. 24. P. 623–632. <https://doi.org/10.5593/sgem2024/1.1/s06.78>
3. Ratov B. T., Mechnik V. A. Increasing the durability of an impregnated diamond core bit for drilling hard rocks. *SOCAR Proceedings*. 2024. Vol. 1. P. 24–31. <https://doi.org/10.5510/ogp20240100936>
4. Studying the Performance Features of Drilling Rock Destruction and Technological Tools / Koroviaka Ye. A., Inhatov A. O., Pavlychenko A. V., Valouch K., Rastsvietaiev V. O., Matyash O. V., Mekshun M. R., Shypunov S. O. // *Journal of Superhard Materials*. 2023. Vol. 45, № 6. P. 466–476. <https://doi.org/10.3103/s1063457623060059>
5. Using Machine Learning to Model Mechanical Processes in Mining: Theory, Practice, and Legal Considerations / Ratov B., Pavlychenko A., Kirin R., Kamyshatskyi O., Serebriak S., Seidaliyev A., Muratova S. // *Engineered Science*. 2025. Vol. 33. Article 1419. <https://doi.org/10.30919/es1419>
6. Zhong R., Peng Z., Jiang H. Design of Diamond Drill Bits with Primary and Secondary Abrasives. *Annales de Chimie - Science Des Matériaux*. 2019. Vol. 43, No. 3, pp. 183-188. <https://doi.org/10.18280/acsm.430307>
7. Improvement of the methodology for calculating the expected drilling speed with PDC chisels / Ratov B. T., Sudakov A. K., Fedorov B. V., Ruslyakova-Kupriyanova I. A., Sundetova P. S. // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. № 1. P. 26–31. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-1/026>
8. Дусєв В. І., Агошавлї Т. Г., Перегудов О. А., Бірман В. А., Яровой В. П. Пристрїй для примусової промивки та змащення опор долота: Авторське свідцтво СРСР № 1465532, Е21В 10/18. Опубл. 15.03.1989, Бюл. № 10.
9. Дусєв В. І., Агошавлї Т. Г., Перегудов О. А., Бірман В. А., Яровой В. П. Пристрїй для примусової промивки та змащення опор долота: Авторське свідцтво СРСР № 1465533, Е21В 10/18. Опубл. 15.03.1989, Бюл. № 10.
10. Перетолчин В. О., Чудогашев Є. В., Аввакумов С. М., Шеметов Ю. П., Долгун Я. Н. Шарошечное долото: Авторське свідцтво СРСР № 885533, Е21В 10/18. Опубл. 30.11.1981, Бюл. № 44.
11. Заболотний К. С., Антончик В. Є., Ганкевич В. Ф., Полушина М. В. Пристрїй для охолодження підшипників шарошок бурових долїт: Патент України № 127230, Е21В 10/18. Опубл. 14.06.2023, Бюл. № 24.

## References

1. Yang, Y., Yang, Y., Ren, H., Qi, Q., & Chen, X. (2020). Research on the working mechanism of the PDC drill bit in compound drilling. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 185, 106647. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106647>
2. Pashchenko, O., Ratov, B., Khomenko, V., Gusmanova, A., & Omirzakova, E. (2024). Methodology for optimizing drill bit performance. In *SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference. EXPO Proceedings*, 24, 623–632. <https://doi.org/10.5593/sgem2024/1.1/s06.78>
3. Ratov, B. T., & Mechnik, V. A. (2024). Increasing the durability of an impregnated diamond core bit for drilling hard rocks. *SOCAR Proceedings*, 1, 24–31. <https://doi.org/10.5510/ogp20240100936>
4. Koroviaka, Ye. A., Ihnatov, A. O., Pavlychenko, A. V., Valouch, K., Rastsvietaiev, V. O., Matyash, O. V., Mekshun, M. R., & Shypunov, S. O. (2023). Studying the Performance Features of Drilling Rock Destruction and Technological Tools. *Journal of Superhard Materials*, 45(6), 466–476. <https://doi.org/10.3103/s1063457623060059>
5. Ratov, B., Pavlychenko, A., Kirin, R., Kamyshatskyi, O., Serebriak, S., Seidaliyev, A., & Muratova, S. (2025). Using Machine Learning to Model Mechanical Processes in Mining: Theory, Practice, and Legal Considerations. *Engineered Science*. <https://doi.org/10.30919/es1419>
6. Zhong, R., Peng, Z., & Jiang, H. (2019). Design of Diamond Drill Bits with Primary and Secondary Abrasives. *Annales de Chimie - Science Des Matériaux*, 43(3), 183–188. <https://doi.org/10.18280/acsm.430307>
7. Ratov, B. T., Sudakov, A. K., Fedorov, B. V., Ruslyakova-Kupriyanova, I. A., & Sundetova, P. S. (2024). Improvement of the methodology for calculating the expected drilling speed with PDC chisels. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 26–31. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-1/026>
8. Dusiev, V. I., Ahoshashvili, T. H., Perehudov, O. A., Birman, V. A., & Yarovoi, V. P. (1989). Prystirii dlia prymusovoi promyvky ta zmashchennia opor dolota. Avtorske svidotstvo SRSR No. 1465532, Bul. No. 10.
9. Dusiev, V. I., Ahoshashvili, T. H., Perehudov, O. A., Birman, V. A., & Yarovoi, V. P. (1989). Prystirii dlia prymusovoi promyvky ta zmashchennia opor dolota. Avtorske svidotstvo SRSR No. 1465533, Bul. No. 10.
10. Peretolchyn, V. O., Chudohashev, Ye. V., Avvakumov, S. M., Shemetov, Yu. P., & Dolhun, Ya. N. Sharoshechnoe doloto. Avtorske svidotstvo SRSR No. 885533, Bul. No. 44.
11. Zabolotnyi, K. S., Antonchuk, V. Ye., Hankevych, V. F., & Polushyna, M. V. (2023). Prystirii dlia okholodzhennia pidshypnykiv sharoshok burovkykh dolit. Patent Ukraine No. 127230, Bul. No. 24.

**O. A. Pashchenko**<sup>1</sup>, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0003-3296-996X  
**S. P. Minieiev**<sup>2</sup>, D. Sc. (Tech.), Prof., ORCID 0000-0002-4594-0915  
**V. Y. Antonchyk**<sup>2\*</sup>, ORCID 0000-0002-4161-9112  
**V. F. Hankevych**<sup>2</sup>, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0002-8535-6318  
**V. I. Kiba**<sup>1</sup>, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0003-3033-6106  
**N. A. Kaluhina**<sup>2</sup>, D. Sc. (Tech.), Prof., ORCID 0000-0003-2994-5449

<sup>1</sup> *Dnipro University of Technology*

<sup>2</sup> *M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the NAS of Ukraine*

\* *Corresponding author: vladimir.antonchik1958@gmail.com*

### **WAYS TO INCREASE THE PRODUCTIVITY OF MINING MACHINES BY IMPROVING THE BEARING COOLING SYSTEMS OF ROLLER CONE BITS**

**Abstract.** The article addresses the problem of increasing the productivity of mining machines by improving the cooling system for the bearings of roller cone bits, which are used for drilling boreholes in hard and extremely hard rocks. In Ukraine, where coal reserves amount to 117.5 billion tons, extraction is complicated by difficult geological conditions, including mine depths of up to 1446 meters and gas-hazardous seams. Rapid bearing wear due to insufficient cooling and lubrication leads to frequent repairs (up to 40% of mechanized complexes are under repair), reduced productivity, and increased extraction costs. The article analyzes known solutions, such as devices for flushing and lubricating bearings, which have drawbacks: intermittent cooling, excessive lubricant consumption, contamination of rock cuttings, and design complexity. A new cooling system for a six-roller cone bit is proposed, which ensures direct supply of water-lubricating emulsion to the bearings through capillary tubes, isolating it from the borehole flushing channels. Experimental tests showed a reduction in bearing temperature from 150-200°C to 60-80°C, a 50-70% reduction in wear, an increase in bit life from 100-300 to 400-600 meters of penetration, and a 20-30% increase in drilling rate. This reduces the risk of accidents, such as tool sticking and rock collapses, by 80-90% by eliminating sludge buildup. The economic benefit is achieved by reducing drilling costs by 20-30% and lubricant costs by 30-40%. The reliability of mining machines increases due to extended bearing life and reduced downtime. Implementation of the system is recommended for drilling rigs like SBSh, SBR, SBU, along with the use of protective methods (heat treatment, coatings) and personnel training to prevent accidents. Future prospects include application in deep mines of Ukraine, development of automated cooling systems, integration with technologies for producing liquid fuel from coal, and the export of competitive equipment after modernizing factories. This solution contributes to reducing the cost of coal and ore extraction, enhancing energy security, and improving the competitiveness of the Ukrainian mining industry.

**Key words:** roller cone bit, bearing cooling, mining machines, borehole drilling, bearing wear, water-lubricating emulsion, drilling rate, extraction cost, hard rocks.

**For citation:** Pashchenko, O. A., Minieiev, S. P., Antonchyk, V. Y., Hankevych,

V. F., Kiba, V. I., & Kaluhina N. A. (2025). Ways to increase the productivity of mining machines by improving the bearing cooling systems of roller cone bits. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 39, 347-360. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2025-39-22>

*Рукопис надійшов до редакції / Received 01.08.2025*

*Рекомендовано до друку / Accepted 21.10.2025*