

ОСНОВОПОЛОЖНІ ЗАСАДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВСТАВНОГО ТВЕРДОСПЛАВНОГО ОСНАЩЕННЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ

Р.С. Яким

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (03422) 43024;
e-mail: public@nung.edu.ua

Вдосконалення конструкції вставного твердосплавного оснащення тришарошкових бурових доліт повинно здійснюватися комплексним розв'язанням ряду технічних задач. Першою основною задачею є розробка конструкцій породоруйнівних вставок на основі принципів: ефективності впливу на породу вибою, надійності кріплення в тілі шарошки, жорсткості системи „порода – зубок – шарошка”, економії цінних твердих сплавів. Другою важливою задачею є впровадження конструкцій породоруйнівного оснащення, де реалізується об'єднане розташування твердосплавних зубків з необхідними характеристиками міцності. Також необхідне розроблення конструкцій породоруйнівного оснащення вершин шарошок для недопущення їх руйнування.

Ключові слова: конструкція, породоруйнівна вставка, тришарошкове бурове долото.

Совершенствование конструкции вставного твердосплавного вооружения трехшарошечных буровых долот должно осуществляться комплексным разрешением ряда технических задач. Первая основная задача – разработка конструкций породоразрушающих вставок на основе принципов: эффективности влияния на породу забоя, надежности крепления в теле шарошки, жесткости системы „порода – зубок – шарошка”, экономии ценных твердых сплавов. Другая важная задача – внедрение конструкций породоразрушающего вооружения, в котором осуществляется обоснованное комбинированное расположение твердосплавных зубков с необходимыми характеристиками прочности. Также необходима разработка конструкций породоразрушающего вооружения вершин шарошек для предотвращения их разрушения.

Ключевые слова: конструкция, породоразрушающая вставка, трехшарошечное буровое долото.

Construction improvement of inserted hard-fencing alloyed equipment of three-cone rock bits must be realized by complex solving of certain engineering problems. One of the main problems is to work out constructions of rock destroying inserts on the basis of such principles as the efficiency of influence on the face rock; security of attachment in the cone body; inflexibility of system „rock – tooth – cone” and saving of valuable hard-fencing alloys. Another important problem is to adopt the constructions of rock destroying equipment in which the reasonable combined location of hard-fencing alloyed teeth with necessary characteristics of strength is realized. It is also necessary to work out the constructions of cone tops rock destroying equipment in order to avoid of their destruction.

Keywords: construction, rockdestroying inserts, three-cone rock bits.

Широке застосування тришарошкових бурових доліт з вставним породоруйнівним оснащенням ставить низку вимог до якісних показників твердосплавних вставок. Це – фізико-механічні, технологічні, експлуатаційні, економічні показники твердосплавних зубків, а також вимоги до їх конструктивної досконалості. Якщо підвищенню фізико-механічних та технологічних показників якості твердосплавних зубків сьогодні приділяється багато уваги [1-3], то питання конструктивної досконалості вставного породоруйнівного оснащення та економії твердого сплаву є дискусійним.

З цією метою здійснено аналітичний огляд основних підходів до вдосконалення конструкції вставних зубків та економії твердого сплаву, а також представлені результати стендових експериментальних випробовувань розробленої нової конструкції породоруйнівної вставки.

Відомо, що характер впливу твердосплавного зубка на породу вибою є основним критерієм для оцінки ефективності породоруйнівного оснащення долота [4], відтак, за останні роки розроблено низку конструкцій так званих черпакоподібних зубків [5-7]. Однак впровадження таких вставних зубків у виробництво доліт сти-

кається з проблемою зростання витрати цінного твердого сплаву. Ця проблема може бути вирішена двома шляхами. В основі одного з шляхів лежать ідеї створення конструкцій комбінованих вставних зубків [8-16]. У цих роботах приділено максимальну увагу забезпеченню фізико-механічних технологічних та експлуатаційних показників зубків, виготовлених на основі твердого сплаву і сталі. Для створення таких комбінованих вставних зубків необхідне сучасне спеціальне технологічне обладнання, що дозволяє отримувати вискоелективну та довговічну породоруйнівну частину за високої міцності серцевини і перехідної зони “сталь-твердий сплав”. Іншим, найбільш ефективним напрямком у підвищенні конструктивної досконалості вставних зубків та економії твердого сплаву, є створення вставок, що включають твердосплавний зубок і допоміжні деталі зі сталі [17-19]. Це дозволяє досягнути високої міцності з'єднання „зубок-шарошка”. Зокрема конструкція породоруйнівної вставки [19], забезпечуючи необхідну жорсткість системи „порода – зубок – шарошка”, має належні експлуатаційні показники, що дозволило їх застосувати для оснащення тришарошкових бурових доліт

250,8 ТКЗ – ПГВ – Д27Б [20]. Також дана конструкція дозволяє економити на матеріалах та трудових затратах, пов'язаних з виготовленням як отворів під посадку вставок, так і твердих сплавів, що йдуть на виготовлення вставок. Наприклад, для долота 250,8 ТКЗ – ПГВ – Д27Б, де кількість вставок дорівнює 150шт, їх вага в базовій конструкції дорівнює 6,34кг, а при застосуванні конструкції [19] вага вставок зменшується до 5,01кг. Тобто для виготовлення тришарошкових доліт 250,8ТКЗ-ПГВ-Д27Б потреба в цінному твердому сплаві порівняно з серійними долотами зменшується у 1,265 разів.

Аналітичний аналіз сучасних конструкцій та тенденцій його розвитку вказав на доцільність розробки так званих пустотілих вставних зубків. Перші працездатні конструкції таких зубків описані в [21]. Вони містять циліндричну основу з порожниною у вигляді половини сфери та породоруйнуючою частиною. Центр половини сфери порожнини розташований на перетині поздовжньої осі вставки з нижньою площиною основи. Проте практика пресування породоруйнівних вставок згаданої конструкції виявила часте руйнування по краях основи хвостовика. Також значна жорсткість з'єднання вставки з тілом шарошки спричинювала вихід з ладу породоруйнівного оснащення. Інша конструкція породоруйнвної вставки [22] містить робочу головку, циліндричний хвостовик з порожниною і розташований в ньому диск. Між диском і дном порожнини хвостовика утворена герметизована камера, заповнена нестисливою рідиною з температурою кипіння, вищою за температуру нагрівання хвостовика в процесі роботи. Порожнина хвостовика і диск мають відповідні циліндричні ділянки, виконані з натягом. Проте конструкція циліндричної ділянки спряження поверхні входу в порожнину хвостовика циліндричною ділянкою диску не забезпечує компенсації напружень при запресовуванні зубка в тіло шарошки, що призводить до частого руйнування вставного оснащення. Також при бурінні спостерігається випадання вставного оснащення внаслідок ненадійного їх закріплення.

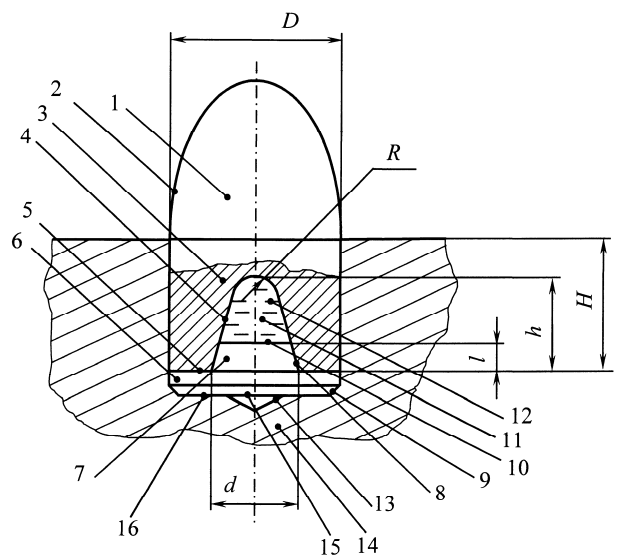
Для усунення цих проблем розроблено нову конструкцію [23], яка включає робочу головку, циліндричний хвостовик з порожниною і розташований в ньому диск, герметизовану камеру, заповнену нестисливою рідиною з температурою кипіння, вищою за температуру нагрівання хвостовика в процесі роботи (рис. 1). Згідно з винаходом, порожнину виконано у вигляді конуса з заокругленою вершиною радіусом $r = 2,5$ мм, діаметр основи якого d визначається зі співвідношення:

$$\frac{D}{d} = 2, \quad (1)$$

де D – діаметр хвостовика, мм;

висота h визначається із співвідношення:

$$\frac{H}{h} = 1,2, \quad (2)$$



1 – твердосплавний елемент, 2 – робоча головка, 3 – хвостовик, 4 – порожнина хвостовика, 5 – торець хвостовика, 6 – диск, 7 – зрізаний конус, 8 – конічна поверхня, 9 – західна фаска, 10 – площина зрізаного конуса, 11 – камера, 12 – гліцерин, 13 – конічна заглибина, 14 – тіло породоруйнівного інструменту (шарошка долота), 15 – основа диска, 16 – дно отвору в шарошці

Рисунок 1 – Загальний вигляд породоруйнвної вставки у зібраному стані [23]

де H – відстань від основи порожнини до площини спряження з головкою, при цьому диск додатково споряджений зрізаним конусом, висота якого l дорівнює половині діаметру d основи конуса порожнини, з'єднаного посадкою з утворенням герметизованої камери.

Для компенсації напружень по краях основи хвостовика, що містить порожнину, та з'єднання з диском, на останньому виконується зрізаний конус висотою l , яке визначається зі співвідношення

$$\frac{l}{d} = 0,5. \quad (3)$$

З'єднання диска і хвостовика здійснюється за посадкою з натягом між твірною поверхнею зрізаного конуса диска і конічною ділянкою порожнини хвостовика вставки. Розмір заокруглення конуса порожнини хвостовика R вибирається відповідно до вимог технологічності конструкції порожнини згідно рекомендацій [24]. Решта розмірів обґрунтовуються умовами міцності та несучої здатності конструкції пресового з'єднання, а також вимогами щодо забезпечення зменшення концентрації напружень на кромках пресового з'єднання [25].

Під дією змінного навантаження внаслідок зменшення мікронерівностей при переміщенні збільшується залежність концентрації напруг від співвідношення $D : d$.

Розподіл тиску в зонах контакту і розміри цих зон визначають методом послідовних наближень.

Виконання порожнини у вигляді конуса з розмірами згідно відношення (1) і висотою h , яка визначається з співвідношення (2), обумов-



Рисунок 2 – Загальний вигляд серійних і експериментальних (з пустотілим хвостовиком) твердосплавних зубків

Таблиця 1 – Порівняння середньої ваги твердосплавних зубків різних конструкцій

Діаметр зубка, мм	Висота зубка, мм	Вага серійної конструкції зубка, г	Вага експериментальної конструкції зубка, г	Економія твердого сплаву, г
13	12	20	15	5
16	16	36	30	6
16	20	48	42	6
19	25	88	76	12

лене вимогами міцності та несучої здатності пресового з'єднання, а також вимогами щодо забезпечення зменшення концентрації напружень на кромках деталей пресового з'єднання. Притаманна кінчній формі міцність дозволяє без поломок породоруйнівних вставок збільшувати їх виліт над тілом шарошки та розбудувати м'які породи з включеннями більш міцних порід.

Заокруглення вершини радіусом $R = 2,5\text{мм}$ забезпечує зменшення поломок при пресуванні і зменшує жорсткість кріплення породоруйнівної вставки за рахунок сприятливого розподілу напружень у пресовому з'єднанні. Для компенсації напружень по краях основи хвостовика диск додатково споряджений зрізаним конусом, висота якого дорівнює половині діаметра основи конуса порожнини, з'єднаного посадкою з натягом із кінчною порожниною з утворенням герметизованої порожнини.

Виконання зрізаного конуса на диску дозволяє не тільки запобігти руйнуванню хвостовика з порожниною, але і забезпечити надійність кріплення вставки в тілі породоруйнівного інструменту за рахунок забезпечення необхідного натягу під дією згинальних моментів на породоруйнівну вставку у процесі перекочування шарошки при бурінні гірських порід.

З метою встановлення працездатності розробленої конструкції вставки [23] виготовлено експериментальну партію твердосплавних зубків з пустотілим хвостовиком (рис. 2) і проведено стендові випробовування бурових шарошкових доліт, шарошки яких були оснащені цими вставками.

Порівняльні дані щодо економії твердого сплаву при виконанні пустотілого хвостовика в окремих типорозмірах зубків наведено в табл. 1.

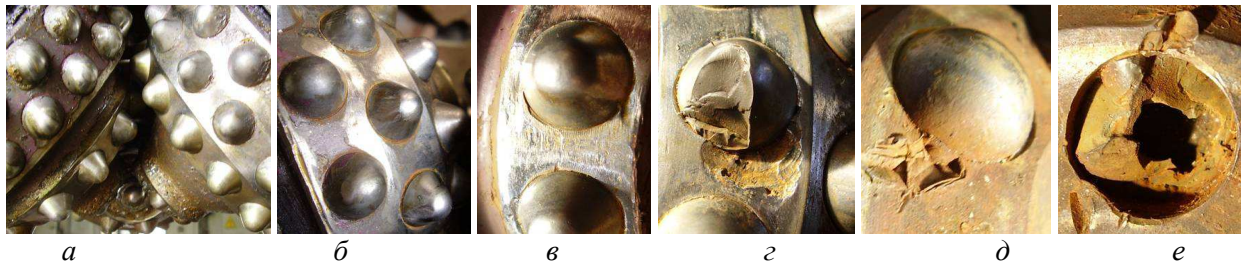
Ці дані вказують на те, що зі збільшенням типорозміру зубка можна економити щораз більше цінного твердого сплаву.

Перед випробовуванням твердосплавні зубки були піддані неруйнівному контролю шляхом вимірювання коерцитивної сили на коерцитиметрі ИКС-8. Таке вимірювання ґрунтується на намагнічуванні твердосплавного зубка в постійному магнітному полі до стану магнітного насичення і знятті показів напруги поля зворотного напрямку циклу, необхідного для повного розмагнічування зубка. Також були проведені металографічні дослідження на спеціально підготовлених поверхнях дослідних зубків (рис. 3).



Рисунок 3 – Загальний вигляд експериментального твердосплавного зубка, підданого металографічним випробуванням

Отже, коерцитивна сила зубків дорівнювала 97 ерстед, що відповідає існуючим заводським типовим умовам на якість твердосплавних зубків. Твердість зубків становила HRA87-88, причому на одному зразку спостерігали стали показники твердості, що також відповідає типовим вимогам з якості таких деталей. Вивчен-



*а – 13 годин роботи долота (загальний вигляд піднесено над вибоєм долота) ;
 б – 20 годин роботи долота (ділянка вінця шарошки секції № 3 ;
 в – 24 годин роботи долота (ділянка вінця шарошки секції № 2);
 г – 24 години роботи долота (ділянка вінця шарошки секції № 3);
 д – 24 годин роботи долота (ділянка вершини шарошки секції № 3);
 е – 30 годин роботи долота (ділянка вершини шарошки секції № 3)*

Рисунок 4 – Загальний вигляд та фрагменти оснащення долота 250,8 ТКЗ – ПГВ – Д27Б з експериментальними зубками, що відпрацьовувало в стендових умовах

ня мікроструктури згідно з методикою [26] свідчить, що твердий сплав є середньозернистим з відсутністю фази типу η (складні карбіди, що складаються з вольфраму і металів фази зв'язки), за наявності включень типу А до 0,02 бала і відсутності вільного вуглецю та пористості до 0,1% у об'ємі, що відповідає існуючим вимогам типових технічних умов до якості структури твердосплавних зубків з вольфрам-кобальтового сплаву.

Випробування долота проводилось на металевому вибої зі сталі 20 за осьового навантаження 220-250кН та частоти обертання долота 60-80об/хв, що дозволяє в необхідній мірі імітувати реальні умови роботи долота. Для виведення долота на робочий режим буріння навантаження на долото плавно збільшували до 70-80кН, і при цьому навантаженні проводили буріння протягом 1год. З метою огляду і оцінки працездатності елементів долота, навантаження збільшували кожні 2-3год його роботи.

Проведені стендові випробування долота, шарошки якого оснащені твердосплавними зубками експериментальної конструкції, показали, що конструкція зубків є працездатною (рис 4, 5).

Отже, долото, пропрацювавши 13 год (рис. 4, а) мало працездатне оснащення, а люфти в опорах дорівнювали 0,6 – 0,65мм. Подібна ситуація спостерігалася до 20 години, коли більша частина твердосплавних зубків на найбільш навантаженому вінці зазнала незначного одностороннього (до 0,5мм) зносу (рис. 4, б). На 24 годині найбільш навантажені вінці шарошки зазнали загального зносу та локального дрібного руйнування (рис. 4, в). Також зафіксовано відколювання фрагмента зубка і локальної поверхні вінця шарошки (рис. 4, г). Виявлені локальні руйнування поверхні вінця поблизу зубка у вершині шарошки (рис. 4, д) свідчать про те, що відколені фрагменти твердосплавного зубка потрапили до центральної частини вибою. Далі на 30 годині твердий сплав у центральній частині вибою спричинив руйнування вставного зубка (рис. 4, е). Оскільки долото, маючи в опорах люфти 0,95 – 1,15мм, було ціл-

ком працездатним (рис 5), а подальші руйнування легко спрогнозувати, то буріння було припинене. Необхідно зауважити, що при такому руйнуванні цільних твердосплавних зубків утворюється на половину більша кількість фрагментів, що призводить до інтенсивного руйнування як вінців шарошки, так і вставних зубків. Особливого навантаження при цьому зазнають середні, найбільш навантажені вінці даної конструкції шарошок, а також вершини шарошок, особливо №2 і №3 та встановлені тут зубки.



Рисунок 5 – Загальний вигляд оснащення тришарошкового бурового долота 250,8 ТКЗ – ПГВ – Д27Б з експериментальними зубками, що відпрацьовувало в стендових умовах 30 годин

З отриманих результатів відпрацювання випливає, що для оснащення шарошок бурових доліт типу ТКЗ необхідно диференційовано підходити до використання твердосплавних зубків з різними характеристиками міцності. Тобто, за аналогом до доліт, виготовлених зарубіжними фірмами, необхідно розширити

Таблиця 2 – Порівняння зносу зубків з твердих сплавів ВК13 і ВК10-КС

№ ряду	Знос породоруйнівного оснащення, %					
	Шарошка № 1		Шарошка № 2		Шарошка № 3	
	ВК13	ВК10-КС	ВК13	ВК10-КС	ВК13	ВК10-КС
1	49	72	55	78	59	96
2	56	67	51	64	37	54
3	63	79	51	49	37	46
4	25	50	38	53	29	33
5					33	38

асортимент застосовуваних твердих сплавів. Для цього цінним є досвід апробації та застосування нових твердих сплавів для оснащення доліт типу ОК.

Спостереження за відпрацюванням породоруйнівного оснащення доліт 244,5ОК-ПГВ-Д26 виробництва ВАТ „ДДЗ” при бурінні порід міцністю 16-18 за шкалою Протодьяконова показали, що найбільшого руйнування зазнають твердосплавні зубки, розміщені у периферійному та передпериферійному рядах, а також і у вершині шарошок. Таке явище спостерігається вже після проходки 100-120м, а сколювання і руйнування зубків на 3 і 4 ряді шарошок фіксується при проході долотом 150-160м. При цьому необхідно зауважити, що знос до 90% породоруйнівного оснащення на периферійних і передпериферійних рядах шарошок та руйнування їх вершин відбувається при бурінні порід міцністю 19-20 за шкалою Протодьяконова з проходкою долота 120м. Тому на цих рядах необхідно застосовувати твердосплавні зубки з підвищеними показниками міцності. З цією метою було проведено підбір ефективного матеріалу для оснащення доліт.

Зокрема, випробовування доліт 244,5ОК-ПГВ-Д26 виробництва ВАТ „ДДЗ” в умовах кар’єрів Кривбасу (буріння порід міцністю 17-19 за шкалою Протодьяконова) дали такий результат: долота, оснащені вставними твердосплавними зубками із сплаву ВК13, мали прохід 185,4м, стійкість – 17,32 при механічній швидкості 10,17м/год, що перевищує показники роботи серійних доліт за проходом – на 21%, за механічної швидкості – на 16% при практично рівній стійкості. Долота, оснащені вставними твердосплавними зубками із сплаву ВК10-КС, мали прохід 180,5м, стійкість – 17,53 за механічною швидкістю 10,41м/год, що перевищує показники роботи серійних доліт за проходом – на 18%, механічною швидкістю – на 19% при практично рівній стійкості. Так, в долотах першої партії, оснащених зубком із сплаву ВК13, загальний знос породоруйнівного оснащення дорівнював 56,1%, а в оснащених зубком із сплаву ВК10-КС загальний знос оснащення дорівнював 51,6%. Долота другої партії, оснащені зубком із сплаву ВК13, показали загальний знос зубків до 48,8%, а долота, оснащені зубком із сплаву ВК10-КС, мали знос породоруйнівного оснащення до 64,5%. Отже стійкість породоруйнівного оснащення доліт, виконаного

на основі зубка з твердого сплаву ВК13, є на 15% вищою порівняно з оснащенням на основі зубка з твердого сплаву ВК10-КС. Разом з тим розташування зубків із сплаву ВК10-КС на 1, 2, 3 рядах, а зубків із сплаву ВК13 на 4, 5 ряді забезпечив загальний знос породоруйнівного оснащення на рівні 18,8%. У табл. 2 подано дані порівняльного аналізу зносу породоруйнівного оснащення однієї з партій доліт 244,5ОК-ПГВ-Д26, в яких одні оснащені зубками зі сплаву ВК13, а інші – зубками зі сплаву ВК10-КС. Одночасно необхідно зауважити, що випробовування в аналогічних умовах буріння доліт, оснащених твердосплавним зубком зі сплаву ВК10 китайського виробництва (з підвищеними вимогами до якості структури), показали кращі експлуатаційні показники порівняно з долотами, оснащеними зубком зі сплаву ВК13. Також зубки китайського виробництва за експлуатаційними показниками не поступаються зубкам фірми „Борт Лонгієр”, які можна рекомендувати до встановлення у найбільш навантажені периферійні і передпериферійні ряди шарошок.

Аналіз відпрацювання двох дослідних партій доліт виробництва ВАТ „ДДЗ” на кар’єрах Південного, Новокриворізького та Центрального ГЗКів показав перспективність застосування комбінованого оснащення з застосуванням сплавів В20 і В30 виробництва фірми „Борт Лонгієр”. З цією метою в одній партії (долота 250,8ОК-ПВ-Д80А) зубки зі сплаву В30 встановлювали на основних і периферійних рядах, а зубки зі сплаву В20 – на вершинах шарошок. У іншій партії (долота 250,8ОК-ПВ-Д80Б) зубки зі сплаву В20 встановлювали на основних і периферійних рядах, а зубки зі сплаву В30 – на вершинах шарошок. Отже, при бурінні порід міцністю 16-19 за шкалою Протодьяконова спостерігали стирання зубків на периферії більшою мірою, ніж на середніх рядах, поодинокі випадки сколювання зубків та незначний відсоток часткових сколів зубків. Загалом долота 250,8ОК-ПВ-Д80А порівняно з 250,8ОК-ПВ-Д80Б показали збільшення проходу при бурінні в умовах Південного ГЗК (породи міцності 18-19 за шкалою Протодьяконова) на 8,7%, Новокриворізького ГЗК (породи міцності 8-17, 14-18 за шкалою Протодьяконова) на 32,2%, Центрального ГЗК (породи міцності 12-18 за шкалою Протодьяконова) на 6,1%.

Отже, вдосконалення конструкції вставного твердосплавного оснащення тришарошкових бурових доліт повинно здійснюватися комплексним вирішенням низки технічних проблем і завдань. Першим основним завданням є розробка конструкції породоруйнівних вставок на основі принципів ефективності впливу на породу вибою, надійності кріплення в тілі шарошки, жорсткості системи „порода – зубок – шарошка”, економії цінних твердих сплавів. Другим важливим завданням є впровадження конструкцій породоруйнівного оснащення, де реалізується обґрунтоване комбіноване розташування твердосплавних зубків з необхідними характеристиками міцності. Також необхідне розроблення конструкцій породоруйнівного оснащення вершин шарошок для недопущення їх руйнування.

Отже надалі необхідно більш детально вивчити можливості застосування конструкцій породоруйнівного оснащення з комбінованим розташуванням твердосплавних зубків із різних твердих сплавів.

Література

- 1 Нассиф С. Н. Разработка методики ускоренных испытаний твердосплавных зубков шарошечных долот на стойкость к ударным циклическим нагрузкам: автореф. дис. на соиск. научн. степ. канд. техн. наук: спец. 05.02.01 „Материаловедение (машиностроение)”, 01.02.06. „Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры” / Сулейман Нассиф Нассиф. – Самара, 2007. – 24 с.
- 2 Ахметсагиров С. М. Технологическое обеспечение стабильности циклической ударной стойкости твердосплавных зубков буровых шарошечных долот: автореф. дис. на соиск. научн. степ. канд. техн. наук: спец. 05.02.01 „Материаловедение (машиностроение)” / С. М. Ахметсагиров. – Самара, 2009. – 24 с.
- 3 Сальников М.А. Разработка буровых твердых сплавов с повышенными характеристиками пластичности и трещиностойкости на основе высокотемпературных карбидов вольфрама: автореф. дис. на соиск. научн. степ. канд. техн. наук: спец. 05.02.01 „Материаловедение (машиностроение)” / М. А. Сальников. – Самара, 2009. – 24 с.
- 4 Спивак А. И. Разрушение горных пород при бурении скважин, – [изд. 3-е] / Спивак А. И. Попов А.Н. – М.: Недра, 1979. – 239 с.
- 5 Буровой породоразрушающий инструмент: Международная инженерная энциклопедия. (Международный транслятор-справочник) – Т.1: Шарошечные долота; под науч. ред. В. Я. Кершенбаума, А. В. Торгашова, А. Г. Мессера]. – М.: Нефть и газ, 2003. – 257 с. – Серия „Нефтегазовая техника и технология”. – Т. 1.
- 6 Пат. 2057889 Российская федерация, МКИ 6 E 21 B 10/16. Зубок шарошки бурового долота / Бикбулатов И. К. (RU), Пагута Б.А. (UA), Гинзбург Э.С. (RU), Гук Р.И. (UA), Торгашов А.В. (RU). – №2057889; Оpubл. 10.04.96, Бюл. №10.
- 7 Пат. 85941 МПК E21B 10/16, E21B 10/08, E21B 10/52 Зубок шарошки бурового долота. / Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким, Т.Б.Пасинович (Україна); заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а200707134; заявл. 25.06.07; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5.
- 8 Крылов К. А. Повышение долговечности и эффективности буровых долот / К.А. Крылов, О. А. Стрельцова. – М.: Недра, 1983. – 206 с.
- 9 А.с. 1418463. СССР, МКИ E21 B 10/46. Породоразрушающий зубок / Ю. И. Басканов, И.П.Жихарев (СССР). - № 3932865/22-03; Заявлено 06.06.85; Оpubл. 23.08.88, Бюл. № 31.
- 10 Бугай Ю.Н. Центробежно-армированный породоразрушающий буровой инструмент / Ю.Н. Бугай, И.В. Воробьев. – Львов: Вища школа. Издательство при Львовском университете, 1989. – 208 с.
- 11 Долговечность шарошечных долот / [Жидовцев Н. А., Кершенбаум В. Я., Гинзбург Э. С. и др.]. – М.: Недра, 1992, – 272 с.
- 12 Барило И. Г. Повышение износостойкости вооружения долот за счет использования комбинированных твердосплавных зубков: автореф. дис. на соиск. научн. степ. канд. техн. наук: спец. 05.02.04 „Трение и износ в машинах” / И. Г. Барило – К., 1989. – 26 с.
- 13 Монтик С.В. Долговечность комбинированных твердый сплав-сталь зубков сложной формы и разработка критерия ее оценки: автореф. дис. на соиск. научн. степ. канд. техн. наук: спец. 05.02.04 „Трение и износ в машинах” / С В. Монтик. – М., 1995. – 22 с.
- 14 Петрина Ю. Д. Розробка науково-прикладних основ підвищення довговічності бурових доліт шляхом раціонального використання матеріалів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: 05.15.07 „Машини і агрегати нафтової і газової промисловості” / Ю. Д. Петрина. – Івано-Франківськ, 1996. – 46 с.
- 15 Артим В. І. Підвищення працездатності шарошкових доліт, оснащених вставними композиційними зубками: дис... кандидата техн. наук: 05.15.07. „Машини та агрегати нафтової та газової промисловості” / Володимир Іванович Артим. – Івано-Франківськ, 1999. – 153 с.
- 16 Пітулей Л. Д. Технологічне забезпечення віброармування зубків бурового інструменту”: дис. кандидата техн. наук: спец. 05.02.08 „Технологія машинобудування” / Лоліта Дмитрівна Пітулей. – Івано-Франківськ, 2008. – 237 с.
- 17 А.с. 909100. СССР, МКИ E21 B 10/16. Породоразрушающий орган / Г.В.Линдо, С.И.Одинец, П.А.Подкопаев, В.А.Саркисян, В.П.Арестов. (СССР). - № 2967714/22-03; Заявлено 31.07.80; Оpubл. 28.02.82, Бюл. № 8.
- 18 А.с. 1439192. СССР, МКИ E21 B 10/16 // E21 B 10/52. Буровой инструмент / Н.М.Панин, Л.Н.Думкин, Л.В.Ардасов, В.С.Лавренов, В.Н.Митюшин (СССР). - № 4210632/22-03; Заявлено 12.03.87; Оpubл. 23.11.88, Бюл. № 43.

19 Пат. 38856 Україна, МПК E21B 10/46. Породоруйнівна вставка / Ю. Д. Петрина, Р.С.Яким, Т. Б. Пасинович (Україна).; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № 2008 09040; заявл. 10.10.08; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2.

20 Яким Р. С. Вдосконалення конструкції вставного твердосплавного оснащення тришарових бурових доліт / Р.С. Яким, Ю.Д. Петрина, Т. Б. Пасинович // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. –2009. – № 4 (22). – С. 83 – 91.

21 А.с. 1353885. СССР, МКИ E21 B 10/46 Породоразрушающая вставка / П.П.Евсеев, Р.А.Иванов, У.Н.Якимчук (СССР). – № 3911497/22-03; Заявлено 17.06.85; Опубл. 23.11.87, Бюл. № 43.

22 А.с. 1174553. СССР, МКИ E21 B 10/52. Твердосплавный зубок для бурового инструмента / Р.М.Богомолов, Ю.Г.Михайлин, А.М.Чувилін, Г.П.Злобин, Л.Г.Бутаков, В.И.Заварухин, Б.Н.Волков (СССР). – № 3713178/22-03; Заявлено 21.03.84; Опубл. 23.08.85, Бюл. № 31.

23 Пат. 92969 Україна, МПК E21B 10/46. Породоруйнівна вставка / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, Т.Б.Пасинович (Україна).; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а200904677; заявл. 12.05.09; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24.

24 Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: справочник. / [Федорченко И.М., Францевич И.Н., Радомысельский И. Д. и др.], отв. ред. И.М.Федорченко. – К.: Наукова думка, 1985. – 624 с.

25 Иосилевич Г. Б. Концентрация напряжений и деформаций в деталях машин / Иосилевич Г. Б. – М.: Машиностроение, 1981. – С. 163-168.

26 Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры: ГОСТ 9391-80 (СТ СЭВ 2947-81 и СТ СЭВ 2952-81). – [действ. от 1983.01.01.] – М.: Издательство стандартов, 1985. – 13 с. (Государственный стандарт Союза ССР).

*Стаття надійшла до редакційної колегії
30.03.11
Рекомендована до друку професором
Ю. Д. Петриною*