

УДК 622.24.051.55

doi:10.20998/2413-4295.2022.02.05

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКРАЩЕНОГО З'ЄДНАННЯ «ЗУБОК-ШАРОШКА» ШЛЯХОМ ВВЕДЕННЯ ДОДАТКОВОГО ЕЛЕМЕНТА ДЛЯ БУРОВИХ ДОЛІТ

А. М. СЛІПЧУК<sup>1\*</sup>, Р. С. ЯКИМ<sup>2</sup>, А. М. КУК<sup>1</sup>

<sup>1</sup>кафедра робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, УКРАЇНА

<sup>2</sup>кафедра технологічної та професійної освіти, Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І. Франка, м. Дрогобич, УКРАЇНА

\*e-mail: andsl@ukr.net

**АНОТАЦІЯ** Розроблено нову конструкцію породоруйнівної вставки, що дала змогу підвищити надійність з'єднання зубка з тілом шарошки долота. Це дозволило забезпечити сприятливі умови для раціонального розподілу контактних напружень у спряжених поверхнях «твердосплавний зубок – втулка – тіло шарошки долота». Поставлене завдання вирішувалось за рахунок вдосконалення обґрунтованого вибраного прототипу, яким є конструкція породоруйнівної вставки бурового долота. Конструкція включає твердосплавний зубок, який виконаний із двоступеневим хвостовиком із рівними по висоті ступенями. Розроблена конструкція породоруйнівної вставки створює можливості для підвищення міцності з'єднання «породоруйнівний зубок – тіло шарошки долота» завдяки надійному приляганню спряжених контактуючих поверхонь та унеможливує випадання твердосплавного зубка з втулки, підвищення опірності крихкому руйнуванню твердосплавного зубка в небезпечному перерізі. Запропоноване з'єднання дозволяє покращити щільність прилягання спряжених поверхонь «хвостовик зубка – втулка» при технологічних операціях складання породоруйнівної вставки. Отримані результати моделювання напруженого стану свідчать про те, що як і очікувалось при однакових зусиллях, які діють на зубок від 50кН до 68кН, найбільш напруженим місцем на шарошці буде «комірець» біля зубка. Напруження у цьому місці для шарошок з серійним породоруйнівним оснащенням буде складати до 1070МПа. У той час для шарошок із розробленим породоруйнівним оснащенням таке напруження буде складати до 912МПа, що є менше на 17%. Отже, розроблена конструкція породоруйнівної вставки відкриває нові можливості не тільки для підвищення міцності з'єднання з тілом шарошки, а й забезпечення умов протидії розтріскуванню твердосплавних зубків при різкому зростанні напружень в пресовому з'єднанні при перевантаженні під час руйнування гірських порід підвищеної міцності. Встановлено, що параметри конструкції породоруйнівної вставки, за рахунок балансу в спряженнях і застосуванні проміжної втулки, дають змогу якісно змінити жорсткість кріплення твердосплавного зубка, що забезпечує запобігання руйнуванню твердосплавного зубка при перевантаженні під час руйнування гірських порід підвищеної міцності. Також створюються можливості для застосування твердих сплавів з вищими показниками міцності та запобігання утворенню тріщин в тілі шарошки під час пресування вставок та в процесі руйнування породи. Розроблена конструкція породоруйнівної вставки дає змогу не тільки організовувати селективне складання, а й успішно усувати брак допущений при формуванні отворів.

**Ключові слова:** породоруйнівний елемент; зубок; шарошка; вставка; моделювання; тришарошкове бурове долото; конструкція зубка

## INVESTIGATION OF THE IMPROVED “INSERT CUTTER – CONE” CONNECTION BY INTRODUCING AN ADDITIONAL ELEMENT FOR ROLLER CONE BITS

А. СЛІПЧУК<sup>1</sup>, Р. ЯКИМ<sup>2</sup>, А. КУК<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, L'viv, UKRAINE

<sup>2</sup> Department of Technological and Professional Education, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, UKRAINE

**ABSTRACT** A new design of the rock-destroying insert has been developed, which has made it possible to increase the reliability of the connection between the tungsten carbide inset cutter and the body of the cone. This allows providing favorable conditions for the rational distribution of contact stresses in the conjugate surfaces "tungsten carbide inset cutter – bush – a body of the cone". The task was solved by improving the well-founded selected prototype, which is the design of the rock-destroying insert of the drill bit. The construction includes a carbide inset cutter, which is made with a two-stage shank with equal steps in height. The developed design of the rock-destructive insert creates opportunities to increase the strength of the connection "inset cutter – the body of the cone". This is realized because a reliable fit of the conjugate contact surfaces is obtained and prevents the tungsten carbide inset cutter from falling out of the bush. Resistance increases to the brittle fracture of the carbide inset cutter in a dangerous section. The proposed joint allows to improve the tightness of the conjugate surfaces of the "shank of the inset cutter – bush" in the technological operations of assembling the rock-destructive insert. The obtained results of stress state modeling indicate that, as expected, with the same forces acting on the inset cutter from 50 kN to 68 kN, the most intense place on the cone will be the "flange" near the inset cutter. The stress will be up to 1070MPa in this place for cones with serial rock-destroying

equipment. Therefore, the developed construction of the destructive insert provides new opportunities not only to increase the strength of the connection with the body of the cone. Conditions secure the cracking of tungsten carbide insert cutter with surge stresses in the press connection when we have an overload during the destruction of high-strength rocks. At that time, this stress will be up to 912MPa, which is 17% less for cones with developed rock-destroying equipment. It is established that the structural parameters of the rock-destroying insert allow to qualitatively changing the rigidity of the carbide insert cutter. This effect is due because the balance created in the conjugations and the intermediate sleeve is applied. Therefore, the developed construction of the destructive insert provides new opportunities not only to increase the strength of the connection with the body of the cone. There are also opportunities for the use of hard alloys with higher strength and prevent the formation of cracks in the body of the cone during the pressing of the inserts and in the process of rock's destruction. The developed design of the rock-destroying insert not only makes it possible to organize selective assembly but also successfully eliminates the allowed defect during the formation of holes.

**Keywords:** rock-destroying element; tungsten carbide insert cutter; cone; insert; modeling; roller cone bits; insert cutter design

## Вступ

У нафтогазовій та гірничій промисловості важливою задачею є надійність бурового інструменту. Під час буріння гірської породи, а особливо міцних порід, проблема безвідмовності роботи тришаршкових бурових доліт гостро стоїть у сучасному виробництві високоякісного інструменту. Серед можливих варіантів бурового інструменту, який використовується для роботи з твердими та особливо твердими породами, застосовують бурові долота з вставним породоруйнівним оснащенням. Специфіка цього інструменту є наявність різноманітних за конструкцією та типорозміром вставних твердосплавних зубків, а також способів їх закріплення. Надзвичайно важкі умови роботи бурових доліт потребують певних особливостей конструкції такого породоруйнівного оснащення та висувають комплекс вимог. Задовольнити усі потреби, які ставляться перед конструктором та технологом, досить важко в умовах реального виробництва навіть при наявності спеціального обладнання на долотних підприємствах. Отже, вирішення поставленої задачі по розробці надійних критеріїв у підходах конструювання при вдосконаленні технології виготовлення тришаршкових бурових доліт є актуальною проблемою. Її вирішення має важливе практичне значення для розробки нафтогазових свердлових, часу їх освоєння та собівартості усіх робіт під час буріння [1–3].

До тришаршкових бурових доліт висувають підвищені вимоги, незважаючи на конструкцію і типорозміру. До таких характеристик відносять: висока надійність, міцність відповідальних елементів опор та породоруйнівного оснащення, продуктивність, здатність витримати руйнівні сили та крутний момент, які підводяться через долото для впливу на вибій. Також конструкційні матеріали технології їхнього оброблення, технології зміцнення, які застосовуються для виготовлення долота, мають задовольняти комплекс вимог і критерії що диктують фізико-механічні властивості порід, для буріння яких призначені конкретні марки тришаршкових бурових доліт. Відомо, що ефективність роботи тришаршкових бурових доліт, ставить перед сучасним долотобудуванням

застосування передових наукоємних технологій забезпечення політики якості на усіх етапах їхнього виготовлення. Стандартний набір правил, вимог, методів є типовим і вже давно узгоджений на виробництві. Найвищі вимоги висуваються до робочих поверхонь долота: елементів опор, породоруйнівного і захисного оснащення шарошок, приєднуваної різи, для герметизованих опор – системи герметизації і змашування опори. Рівень точності отриманих форми та взаємного розташування цих поверхонь, розмірів згідно конструкторсько-технологічної документації визначають якісні показники виготовлення шарошкового долота [4].

Якість закріплення вставних твердосплавних зубків в тілі шарошки є одним з головних чинників, що визначає ефективність формування вибою, руйнування породи та формування свердловини. Ключовим елементом тут є досконалість конструкції шарошок та особливо породоруйнівних вставних зубків. Конструкція вставних твердосплавних породоруйнівних зубків визначає можливість з'єднання та впливає на надійність та жорсткість з'єднання з тілом шарошки долота. Тому вдосконалення конструкції вставних твердосплавних породоруйнівних зубків має вагоме практичне значення для долотобудування [5].

## Мета роботи

Розробити ефективну конструкцію вставного твердосплавного породоруйнівного зубка, що дає змогу підвищити надійність його з'єднання з тілом шарошки бурового долота. До конструкції ставляться вимоги щодо забезпечення сприятливих умов для раціонального розподілу контактних напружень у спряжених поверхнях «твердосплавний зубок – втулка – тіло шарошки долота». Також, необхідна жорсткість кріплення твердосплавного зубка, має забезпечуватися обґрунтованим вибором раціональних параметрів конструкції. Умови накладаються також на забезпечення й підвищення технологічності виготовлення вставного породоруйнівного оснащення шарошок бурових доліт.

### Огляд літературних джерел

Відомий буровий інструмент [6], корпус якого виконаний з отворами у яких розміщені втулки і породоруйнівні вставки з робочою головою і ступінчастим хвостовиком, ступінь меншого діаметру якого запресована у втулку з натягом, що не перевищує натяг між втулкою і корпусом. Проте, дана конструкція не забезпечує необхідної надійності й жорсткості, що може спричинити у одному випадку до крихкого руйнування твердосплавної вставки, у другому її випадання при бурінні породи вибою.

Конструкція породоруйнівного органу [7], що складається з корпусу, вставки, зносостійкого породоруйнюючого зубка, що включає робочу частину і ступінчастий хвостовик. В цій конструкції необхідно виконувати високоточні глухі ступінчасті отвори та розміщати в них металеві вставки, що спричинює труднощі, як на стадії формоутворення отворів, так і при складальних операціях.

Чільна конструкція породоруйнівної вставки [8], що містить твердосплавний елемент у вигляді зубка, що має робочу головку і хвостовик, запресований в гніздо корпусу інструмента через проміжну втулку, яка має дно з отвором і виточку на боковій поверхні зі сторони дна, виконану по посадці з зазором довжиною меншою за товщину дна. Твердість втулки менша за твердість хвостовика, а її розміри відповідають таким співвідношенням

$$0,69 < \frac{d_1}{d_2} < 1; \quad 0,4 \leq \frac{d_1 N_1}{d_2 N_2} \leq 0,5, \quad (1)$$

де  $N_1$  – натяг, який виникає між внутрішньою поверхнею втулки діаметром  $d_1$  та зубком,  $N_2$  – натяг, який виникає між зовнішньою поверхнею втулки діаметром  $d_2$  та отвором шарошки,  $d_1$  – діаметр внутрішньої поверхні втулки під вставний зубок,  $d_2$  – діаметр зовнішньої поверхні втулки, яка встановлюється у шарошку. Як показує практика, то при застосуванні даної конструкції, немає необхідної жорсткості та надійності закріплення твердосплавного зубка. Запасу пружності в нижній частині спряження хвостовик – втулка відсутній, а це і є причиною пластичної деформації втулки і випадіння твердосплавного зубка.

Найближчою до розробленої конструкції є породоруйнівна вставка [9], що включає твердосплавний елемент, який виконаний із двоступеневим хвостовиком, який має рівний по висоті 2 ступені. Співвідношення діаметрів відповідають такому вигляду:

$$\frac{d_3}{d_4} = \frac{1,8}{1,5}, \quad (2)$$

де  $d_3$  – діаметр першої ступені хвостовика,  $d_4$  – діаметр другої ступені хвостовика (рис. 1). Ніжка зуба, яка запресована в гнізді втулки, дно якої виконано з центральним отвором, а розміри втулки відповідають співвідношенням (1), а хвостовик виконаний двоступеневим із рівними по висоті ступенями, діаметри яких відповідають співвідношенню (2). Однак дана конструкція не забезпечує необхідну жорсткість з'єднання породоруйнівної вставки з тілом породоруйнівного інструменту, а також надійність кріплення твердосплавного елемента. Несприятливий розподіл напружень у ділянці контакту спряжених посадкових поверхонь твердосплавного зубка з проміжною втулкою, а також породоруйнівної вставки і дна отвору під неї в тілі інструмента. Дана конструкція також не забезпечує досягнення підвищення технологічності у виготовленні через необхідність спеціального різального інструменту для підбирання дна отвору в тілі породоруйнівного інструменту під якісне й надійне пресування породоруйнівної вставки.

### Виклад основного матеріалу

В основу розробленої конструкції поставлене завдання створення вставної породоруйнівної вставки, що дає змогу підвищити надійність з'єднання зубка з тілом шарошки долота, забезпечити сприятливі умови для раціонального розподілу контактних напружень у спряжених поверхнях «твердосплавний зубок – втулка – тіло шарошки долота». Ключовим моментом тут є забезпечення необхідної жорсткості кріплення твердосплавного зубка за рахунок обґрунтованого вибору раціональних параметрів конструкції хвостовика породоруйнівної вставки. Для ефективного освоєння виробництвом, породоруйнівна вставка має забезпечувати підвищити технологічність як у виготовленні, так і при складальних операціях при виготовленні шарошкових бурових доліт.

Поставлене завдання вирішували завдяки вдосконаленню обґрунтовано вибраного прототипу, яким є конструкція породоруйнівної вставки бурового долота, що включає твердосплавний зубок, який виконаний із двоступеневим хвостовиком із рівними по висоті ступенями [9]. У конструкцію хвостовика внесено обґрунтовані зміни, завдяки чому розроблена конструкція породоруйнівної вставки відрізняється тим, що втулка виконана у вигляді конуса з кутом при вершині  $120^\circ$ , а спряжені поверхні твірних малої ступені хвостовика та відповідної поверхні твірної внутрішнього отвору втулки виконані з конусністю, значення якої є в межах від 1:30 до 1:50, що взаємно орієнтована у різні сторони, а спряження між великим та малим діаметрами хвостовика твердосплавного елемента, виконані у вигляді галтелі, що включає радіус в межах  $2 \div 3$  мм та кут у вершині основи хвостовика

великого діаметра  $\beta=160-165^\circ$ , відповідна спряжена з малим діаметром хвостовика твердосплавного елемента внутрішня поверхня втулки.

Розроблена конструкція породоруйнівної вставки [9] забезпечує раціональні параметри розподілу контактних напружень у ділянках спряжень «твердосплавний зубок – втулка – тіло шарошки долота», необхідну жорсткість системи «шарошка долота – породоруйнівний зубок – порода вибою», створює можливості для підвищення міцності з'єднання «породоруйнівний зубок – тіло шарошки долота», надійне прилягання спряжених контактуючих поверхонь та унеможливує випадання твердосплавного зубка з втулки, підвищення опірності крихкому руйнуванню твердосплавного зубка в небезпечному перерізі, покращення щільності прилягання спряжених поверхонь «хвостовик зубка – втулка» при технологічних операціях складання породоруйнівної вставки.

Породоруйнівна вставка складається із зубка 1, який виготовлений з твердого сплаву і має робочу головку 2. Хвостовик виготовлений у формі двоступеневого циліндра з різними діаметрами. Перша ступінь є більшою і дорівнює діаметру  $d_3$  3. Друга ступінь є меншою і має діаметр  $d_4$  4. В складеному стані породоруйнівний вставка запресовуються в гніздо тіла шарошки 6. Втулка 5 має зовнішню поверхню діаметром  $d_3$  (рис. 1) і внутрішню  $d_5$  (рис. 3). Зовнішня посадкова поверхня основи втулки 5 виконана у вигляді конуса з кутом при вершині  $120^\circ$ , яка забезпечує раціональний контакт при посадці породоруйнівного зубка в гніздо тіла шарошки 6. У конусній частині втулки 5 виконано центральний отвір 7 (рис. 1).

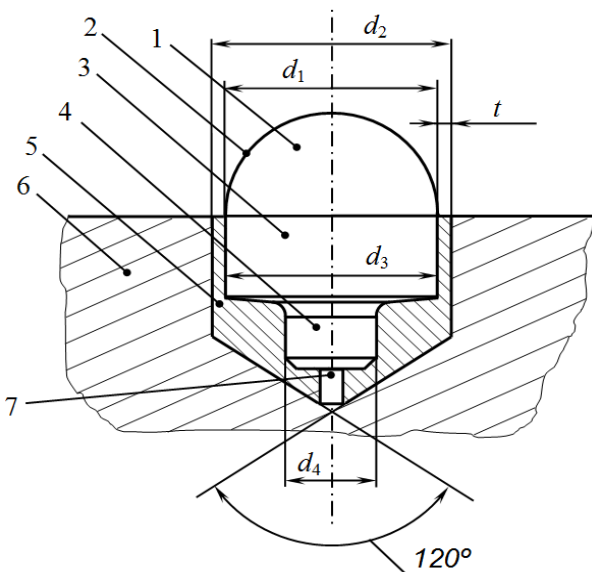


Рис. 1 – Породоруйнівна вставка, що включає твердосплавний зубок з втулкою, запресована у тіло шарошки бурового долота

На рис. 1 показано, у перерізі, породоруйнівну вставку, що включає породоруйнівний твердосплавний зубок з втулкою, яка запресована у тіло шарошки бурового долота, де:

- 1 – твердосплавний зубок;
- 2 – робоча головка твердосплавного зубка;
- 3 – циліндричний хвостовик твердосплавного зубка із більшим діаметром  $d_3$ ;
- 4 – циліндричний хвостовик твердосплавного зубка із меншим діаметром  $d_4$
- 5 – втулка;
- 6 – тіло шарошки;
- 7 – центральний отвір у конусній частині втулки;
- 8 – внутрішній отвір втулки діаметром  $d_4$ ;
- 9 – основа хвостовика твердосплавного зубка діаметром  $d_3$

- 10 – внутрішній отвір втулки діаметром  $d_5$ ;
- 11 – основа втулки;
- $R$  – гальтель у межах  $2 \div 3$  мм;
- $\beta$  – кут при вершині основи хвостовика діаметра  $d_3$  твердосплавного зубка. Вибрано у межах  $160 - 165^\circ$ .

- $H$  – висота комбінованої ніжки зубка;
- $t$  – товщина стінки втулки на висоті діаметра  $d_3$ ;
- $a$  – фаска на ніжці твердосплавного зубка;
- $h$  – висота циліндричної зовнішньої поверхні втулки.

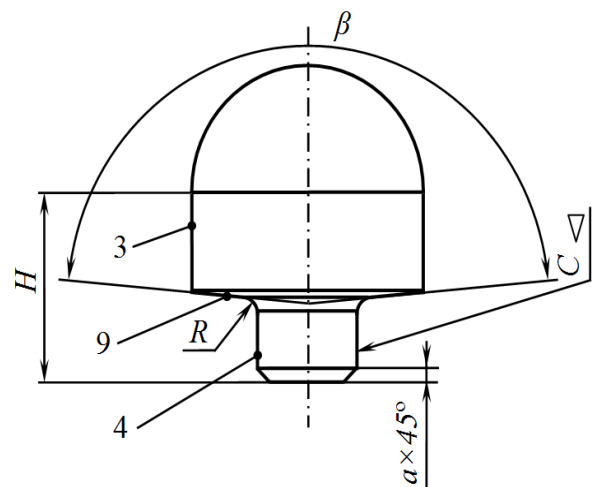


Рис. 2 – Породоруйнівний твердосплавний зубок

Величина діаметра  $d_4$  підбирається таким чином, щоб зберігалось співвідношення (2), тобто вона залежить від величини діаметру  $d_3$ . Така пропорція необхідна для забезпечення необхідної конструктивної міцності (рис. 1). Якщо діаметр  $d_3$  дорівнює 14 мм, то діаметр  $d_4$ , враховуючи це співвідношення буде дорівнювати до 12 мм. Спряжені поверхні твірних малої ступені хвостовика 4 твердосплавного зубка 1 та відповідної поверхні твірної внутрішнього отвору 8 втулки 5 виконана з конусністю, значення якої є в межах від 1:30 до 1:50, що взаємно орієнтована у різні сторони, а спряження

між великими діаметрами 3 та малим діаметрами хвостовика 4 твердосплавного зубка 1 (рис. 1), та виконане у вигляді галтелі, що включає радіус в межах  $R = 2 \div 3$  мм та кут  $\beta$  у вершині основи 9 хвостовика великого діаметра 3 (рис. 2) твердосплавного зубка 1 вибрано у межах  $160 - 165^\circ$ . Спряження 11 між великим 10 та малим 8 отворами втулки 5 має такі самі геометричні параметри: радіус спряження вибрано у межах  $R = 2 \div 3$  мм, а та кут  $\beta$  у вершині основи 11 отвору великого діаметра 10 втулки 5 вибрано у межах  $160 - 165^\circ$  (рис. 3). Розміри втулки 5 відповідають співвідношенням (1).

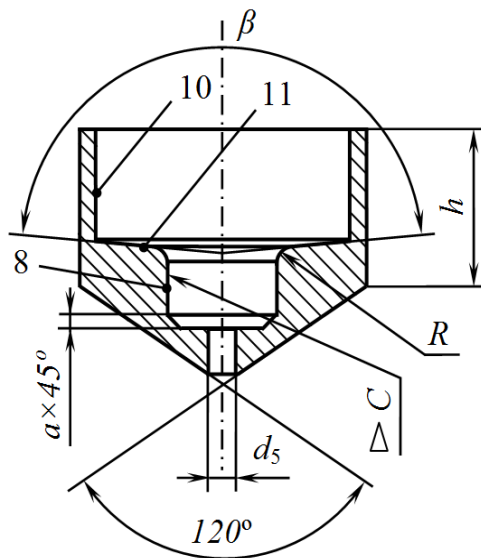


Рис. 3 – Втулка під посадку хвостовика твердосплавного зубка

Слід звернути увагу на те, що твердість ступінчатого хвостовика 3, 4 твердосплавного зубка повинна бути більшою за твердість матеріалу втулки 5.

Як показано на рис. 1 товщина стінки  $t$  у втулці 5 є тонкостінною, а її зовнішній діаметр  $d_3$  буде залежати від діаметру  $d_2$  та є величинами різного порядку.

Технологія виконання породоруйнівного оснащення шарошок бурових доліт включає такі етапи: формоутворення отворів, призначення раціональних натягів підбором селективних груп втулок, складання з'єднання «породоруйнівний зубок – втулка», пресування зібраних породоруйнівних вставок у визначені (селективні) отвори в тілі шарошок [10]. Отже, з'єднання твердосплавного зубка 1 з втулкою 5 здійснюється посадкою з натягом по внутрішній поверхні втулки 5. Забезпечення найбільшого натягу між внутрішньою поверхню втулки 5 з діаметром  $d_1$  та твердосплавним хвостовиком 3 і 4 не повинен допустити ризик змінання внутрішньої поверхні втулки 5.

При складанні вставки центральний отвір 7 слугує для випуску повітря, що витісняється твердосплавним зубком 1 з внутрішньої порожнини втулки 5. Під час запресовування необхідно дотримуватись відсутності зазору між отвором 10 втулки 5 та хвостовиком більшого діаметру  $d_3$ . Зусилля пресу прикладаються до головки 2 твердосплавного зубка 1. При цьому, для забезпечення ефективності з'єднання застосовано теплове пресування, яке ґрунтується на нагріванні втулки 5 та охолодженні твердосплавного зубка 1. Це уможливило уникнення пластичної деформації спряжених конусних поверхонь 8 втулки 5 та пошкодження конусної поверхні 9 твердосплавного зубка 1. За таких умов створено надійний замок у спряжених елементах меншої ступені хвостовика 4 твердосплавного зубка 1 та малого діаметра отвору 8 втулки 5, що забезпечує найкращі експлуатаційні показники породоруйнівної вставки.

У складеній породоруйнівній вставці (рис. 1) можна виконати обробку зовнішньої поверхні втулки 5, щоб підкоректувати посадку з натягом.

Запресовування породоруйнівної вставки в гніздо тіла інструмента 6 може бути здійснено як при нагрітому корпусі шарошки бурового долота, так і при холодному. Зусиллям пресу, що прикладений до робочої головки 2 твердосплавного зубка 1, яке передано хвостовиком 3, 4 і втулки 5, здійснено запресовування породоруйнівної вставки. При цьому, зовнішній шар поверхні втулки 5 з діаметром  $d_2$  контактує з поверхнею глухого отвору у тілі шарошки 6, і піддається пружній деформації. Це сприяє повнішому стицанню поверхонь, підвищує площу контакту і зменшує можливість змінання спряжених поверхонь. При запресовуванні виникає зусилля, яке додатково стискає хвостовик 4.

Раціональне співвідношення діаметрів втулки і натягів у внутрішній та зовнішній поверхні дає змогу передати на хвостовик 3 твердосплавного зубка 1 раціональне значення зусилля обтискання.

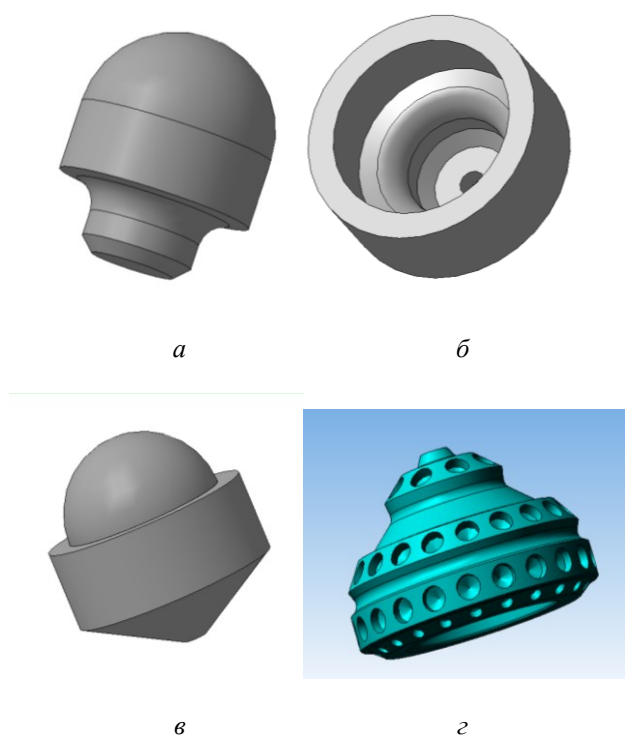
Породоруйнівна вставка з втулкою запресована до упору в дно гнізда, при цьому конусна поверхня і отвір у вершині основи втулки унеможливило виникнення несприятливого розподілу напружень у ділянці дна отвору в тілі шарошки 6. Порожнина центрального отвору 7, також дає достатній об'єм для стиснутого повітря при процесі пресування, що сприяє запресовуванню вставки до упору в дно гнізда інструмента 6.

Отвір 7 корисний і для демонтажу твердосплавного елемента 1 з шарошки відпрацьованого бурового долота для переробки цінного твердого сплаву. Для цього частину корпусу інструмента можна зрізати по перерізу, що

проходить у ділянці отвору 7 втулки 5, після чого, через отвір 7 твердосплавний елемент 1 може випресовуватися.

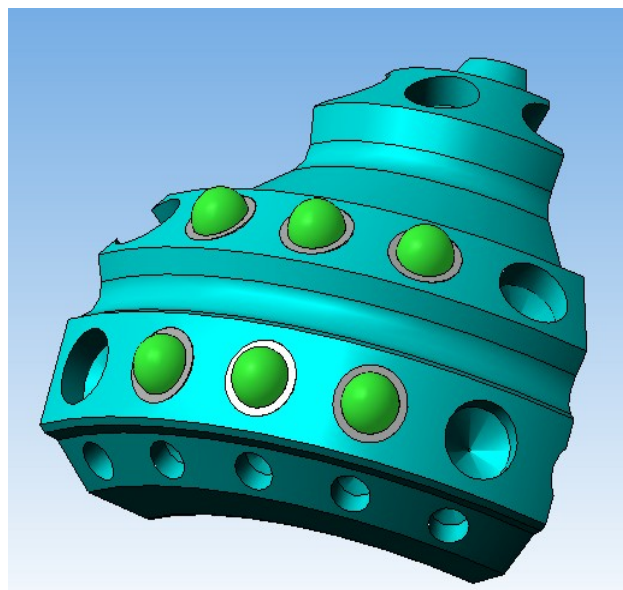
В основу розробленої нової конструкції породоруйнівної вставки покладено результати науково-конструкторських експериментальних досліджень, в тому числі представлені нижче результати моделювання в середовищі програмного продукту КОМПАС-3D АРМ FEM. Отже, спочатку створено 3D моделі розробленої конструкції породоруйнівної вставки (породоруйнівний зубок, втулка) під посадку в отвори однієї з шарошок тришарошкового бурового долота (рис. 4).

Для порівняння характеристик розподілів напружених станів у перерізах шарошок з розробленим породоруйнівним оснащенням та базовим (серійна технологія) створено 3D моделі для аналогічної конструкції шарошки оснащеної стандартним породоруйнівним оснащенням – породоруйнівними зубками з циліндричними хвостовиками встановленими у вінця шарошки за серійною технологією пресування (рис. 5).



*а – твердосплавний зубок ; б – втулка твердосплавного зубка;  
в – породоруйнівна вставка Ø18мм; г – модель однієї з шарошок бурового долота*

*Рис 4. – 3-D модель елементів розробленої конструкції та зубків побудовані для досліджень напруженого стану породоруйнівного оснащення шарошок за умов імітації умов експлуатації*



*Рис. 5 – 3-D модель фрагмента шарошки з породоруйнівним оснащенням розробленої конструкції*

Аналізу піддавали шарошки тришарошкового бурового долота діаметром 302 мм. Аналіз міцності шарошок, оснащених порівнюваними варіантами породоруйнівного оснащення, виконували по небезпечному перерізі, при цьому виходили з випадку коли зведена сила прикладена до основного твердосплавного зубка моделі сягає 70 кН.

Моделювали фрагмент з 3-ма робочими зубками (рис. 5), які працюють в таких умовах:

- на основний зубок, розміщений всередині – прикладаємо по 68 кН.
- на сусідні зубки – прикладаємо по 50 кН.
- на усі ніжки зубків і на отвори шарошки діє тиск 1000МПа [6], який виникає при запресовуванні твердосплавного зубка.

Таким чином у контактній зоні кожна шарошка буде зазнавати до 200 кН, що відповідно впливає на напружений стан вінців шарошки [11]. Генеруючи сітку з кінцевих елементів (рис. 6) отримали характер напруженого стану у вінцях шарошки (рис. 7).

Для проведення теоретичного дослідження створимо сегмент конструкції шарошки, яка буде включати два основних вінця. Отримані результати [11] пошкоджені вінців доліт після експлуатації у вибої повністю узгоджується з даними, які отримали під час моделювання. На рис. 7-9 вказано області, які зазнають найбільших навантажень і відповідно у них виникають найбільші напруження.

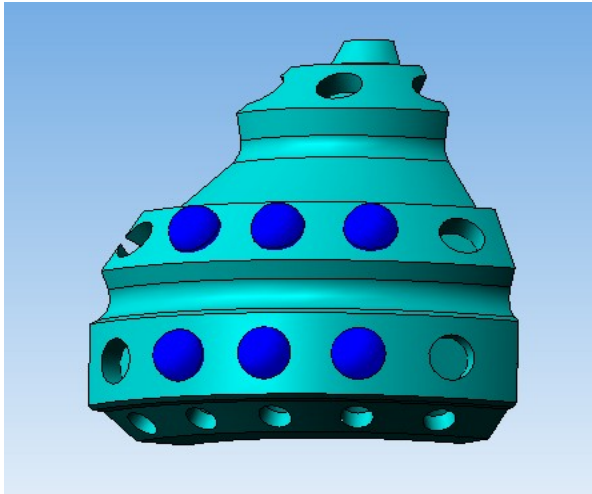


Рис. 6 – 3-D модель фрагмента шарошки з серійним породоруйнівним оснащенням тришарошкового бурового долота діаметром 302мм

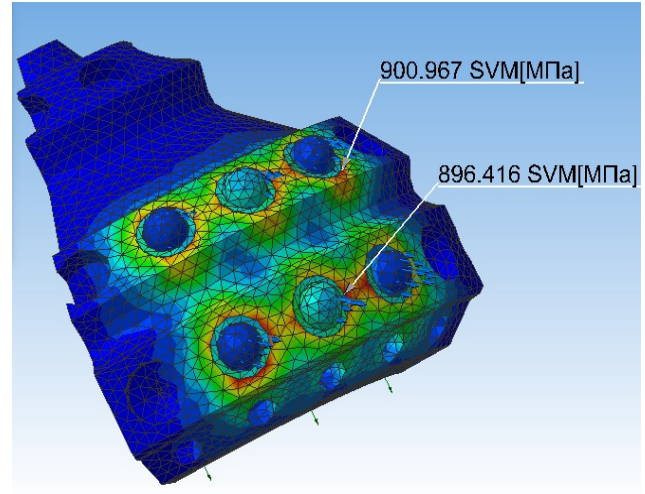


Рис. 9 – Моделювання напруженого стану на основних вінях шарошки з породоруйнівним оснащенням розробленої конструкції, у ділянках спряження «хвостовик зубка – отвір шарошки»

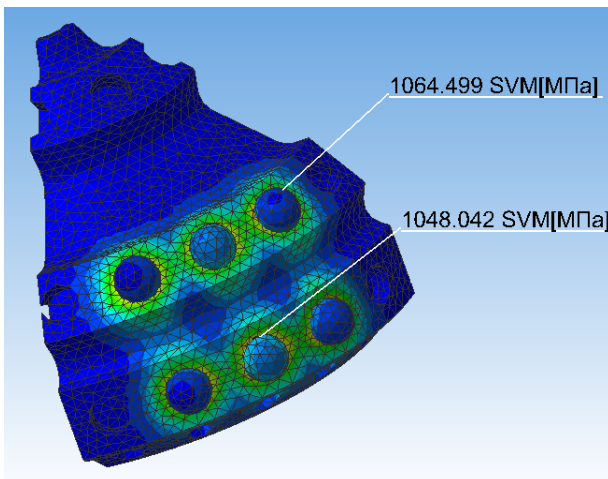


Рис. 7 – Моделювання напруженого стану на основних вінях шарошки з породоруйнівним оснащенням серійної конструкції у ділянках спряження «хвостовик зубка – отвір шарошки»

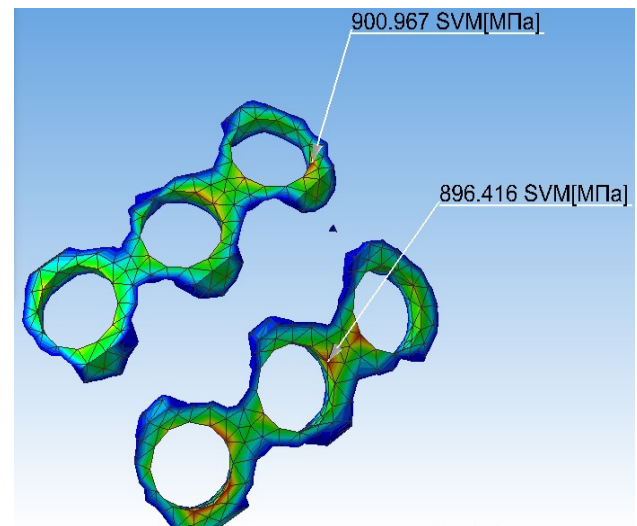


Рис. 10 – Зображення напруженого стану у фрагменті шарошки з породоруйнівним оснащенням розробленої конструкції, де напруження складає в межах 635 МПа до 912 кПа

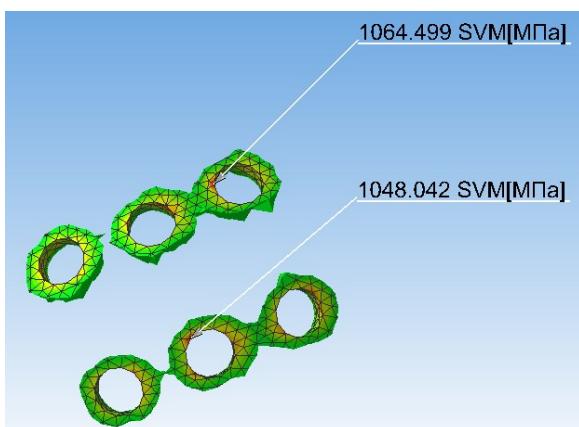


Рис. 8 – Зображення напруженого стану у фрагменті шарошки з породоруйнівним оснащенням серійної конструкції де напруження складає в межах 500МПа до 1070МПа

### Висновки

Теоретично й експериментально обґрунтовано параметри ефективної конструкції вставного твердосплавного породоруйнівного зубка, що дає змогу підвищити надійність його з'єднання з тілом шарошки бурового долота. Аналізом моделювання напруженого стану розробленої нової конструкції встановлено якісне та кількісне забезпечення сприятливих умов для раціонального розподілу контактних напружень у спряжених поверхнях «твердосплавний зубок – втулка – тіло шарошки долота». Встановлено, що параметри конструкції

породоруйнної вставки, за рахунок балансу в спряженнях і застосуванні проміжної втулки дають змогу якісно змінити жорсткість кріплення твердосплавного зубка, що забезпечує запобігання руйнуванню твердосплавного зубка при перевантаженні під час руйнування гірських порід підвищеної міцності. Також створюються можливості для застосування твердих сплавів з вищими показниками міцності та запобігання утворень тріщин у тілі шарошки під час пресування вставок та у процесі руйнування породи. Розроблена конструкція породоруйнної вставки дає змогу не тільки організувати селективне складання, а й успішно усувати брак допущений при формоутворенні отворів. За умов застосування суцільного твердосплавного зубка треба підшукувати необхідний діаметр для отворів, що різко випадають з ряду для посадки. Розроблена конструкція дає змогу, при однакових параметрах конструкції твердосплавного зубка, за рахунок проміжної втулки мобільно створювати необхідну кількість породоруйнівних вставок не тільки у селективних групах, а й у окремих «аварійних» випадках.

#### Список літератури

- Ropyak L., Schuliar I., Bohachenko O. Influence of technological parameters of centrifugal reinforcement upon quality indicators of parts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. 5(79). P. 53–62. doi: 10.15587/1729-4061.2016.59850.
- Chung S. W., Park S. M. A Shell Theory of Hybrid Anisotropic Materials. *International Journal of Composite Materials*. 2016. 6(1). P. 15–25. doi: 10.5923/j.cmaterials.20160601.03.
- Сліпчук А. М., Яким Р. С. Вплив технологічних параметрів складання з'єднання «зубок-шарошка» на якість вставного твердосплавного оснащення шарошок бурових доліт. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 3 (5). С. 3–9. doi: 10.20998/2413-4295.2020.01.01.
- Wei M. D., Dai F., Xu N. W., Liu J. F., Xu Y. Experimental and numerical study on the cracked chevron notched semi-circular bend method for characterizing the mode I fracture toughness of rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016. 49(5). P. 1595–1609. doi: 10.1007/s00603-015-0855-2.
- Mirsayar M. M., Razmi A., Aliha M. R. M., Berto F. EMTSN criterion for evaluating mixed mode I/II crack propagation in rock materials. *Engineering Fracture Mechanics*. 2018. 190. P. 186–197. doi: 10.1016/j.engfracmech.2017.12.
- Панин Н. М., Думкин Л. Н., Ардасов Л. В., Лавренов В. С., Митюшин В. Н. А.с. 1439192. СССР, МКИ E21 B 10/16//E21B10/52. Буровой инструмент № 4210632/22-03; Заявлено 12.03.87; Оpubл. 23.11.88, Бюл. № 43. 3 с.
- Линдо Г. В., Одинец С. И., Подкопаев П. А., Саркисян В. А., Арестов В. П. А.с. 909100. СССР, МКИ E21 B 10/16. Породоразрушающий орган. № 2967714/22-03; Заявлено 31.07.80; Оpubл. 28.02.82, Бюл. №8. 6 с.
- Алексеев С. Е., Геде А. П. А.с. 1303696. СССР, МКИ E21 B 10/46. Породоразрушающая вставка. № 3872267/22-03; Заявлено 25.03.85; Оpubл. 15.04.87, Бюл. № 14. 3 с.
- Петрина Ю.Д., Яким Р. С., Пасинович Т. Б. Пат. 38856 Україна, МПК E21B 10/46. Породоруйнівна вставка. заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. № u200809040; заявл. 10.10.08; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2. 4 с.
- Яким Р. С., Сліпчук А. М. Оцінка надійності та критерії підвищення якості вставного породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт для буріння особливо міцних порід. *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* Харків: НТУ «ХПІ». 2019. № 5 (1330). С. 77–85. doi: 10.20998/2413-4295.2019.05.10
- Thiyagu M., Karunamoorthy L., Arunkumar N. Thermal and tool wear characterization of graphene oxide coated through magnetorheological fluids on cemented carbide tool inserts. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2019. Vol. 19, Iss. 4. P. 1043–1055. doi: 10.1016/j.acme.2019.05.005.

#### References (transliterated)

- Ropyak L., Schuliar I., Bohachenko O. Influence of technological parameters of centrifugal reinforcement upon quality indicators of parts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019, 5(79), pp. 53–62, doi: 10.15587/1729-4061.2016.59850.
- Chung S. W., Park S. M. A Shell Theory of Hybrid Anisotropic Materials. *International Journal of Composite Materials*, 2016, no. 6 (1), pp. 5–25, doi: 10.5923/j.cmaterials.20160601.03.
- Slipchuk A., Jakym R. The influence of technological factors during pressing tungsten carbide insert cutter in the cone of the roller cone bits for the reliability connection. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 3(5), pp. 3–9, doi: 10.20998/2413-4295.2020.01.01.
- Wei M. D., Dai F., Xu N. W., Liu J. F., Xu Y. Experimental and numerical study on the cracked chevron notched semi-circular bend method for characterizing the mode I fracture toughness of rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2016, 49 (5), pp. 1595–1609, doi: 10.1007/s00603-015-0855-2.
- Mirsayar M. M., Razmi A., Aliha M. R. M., Berto F. EMTSN criterion for evaluating mixed mode I/II crack propagation in rock materials. *Engineering Fracture Mechanics*, 2018, 190, pp. 186–197, doi: 10.1016/j.engfracmech.2017.12.
- Panin N. M., Dumkin L. N., Ardasov L. V., Lavrenov V. S., Mityushin V.N. А.с. 1439192. SSSR, МКИ Ye21 V10/16//Ye21 V 10/52. Буровой инструмент (SSSR). № 4210632/22-03; Заявлено 12.03.87; Оpubл. 23.11.88, Byul. № 43, 3 p.
- Lindo G. V., Odinets S. I., Podkopayev P. A., Sarkisyan V. A., Arestov V. P. А.с. 909100. SSSR, МКИ Ye21 V 10/16. Porodorazrushayushchii organ № 2967714/22-03; Заявлено 31.07.80; Оpubl. 28.02.82, Byul. № 8, 6 p.
- Alekseyev S. Ye., Gede A. P. А.с. 1303696. SSSR, МКИ Ye21 V 10/46. Porodorazrushayushchaya vstavka. №



- 3872267/22-03; Zayavleno 25.03.85; Opubl. 15.04.87, Byul. № 14, 3 p.
9. Petrina YU. D., Yakym R. S., Pasynovych T. B. Pat. 38856 Ukrayina, MPK E21V 10/46. Porodoruynivna vstavka (Ukrayina); zayavnyk ta patentovlasnyk Ivano-Frankivs'kyu natsional'nyu tekhnichnyu universytet nafty ta hazu. № u 200809040; zayavl. 10.10.08; opubl. 26.01.2009, Byul. №2, 4 p.
10. Jakym R., Slipchuk A. Assessment of reliability and criteria for improving the quality of rock cutting equipment of tricone drilling bits for well-boring especially hard rock. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, 5 (1330), pp. 77–85, doi: 10.20998/2413-4295.2019.05.10.
11. Thiyagu M., Karunamoorthy L., Arunkumar N. Thermal and tool wear characterization of graphene oxide coated through magnetorheological fluids on cemented carbide tool inserts. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2019, Vol. 19, Iss. 4, pp. 1043–1055, doi: 10.1016/j.acme.2019.05.005.

#### Відомості про авторів (About authors)

**Сліпчук Андрій Миколайович** – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри *робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування*, м. Львів, Україна; ORCID: 0000-0003-0584-6104, e-mail: andsl@ukr.net

**Slipchuk Andrii** – Candidate of Technical Sciences, PhD, Lviv Polytechnic National University, Docent of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv, Ukraine, ORCID: orcid.org/0000-0003-0584-6104, e-mail: andsl@ukr.net

**Яким Роман Степанович** – доктор технічних наук, професор, Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І. Франка, професор кафедри технологічної та професійної освіти; м. Дрогобич, Україна, e-mail: Jakym.r@online.ua

**Yashkym Roman** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Professor of Department of Technological and Professional Education, Drohobych, Ukraine, e-mail: Jakym.r@online.ua

**Кук Андрій Михайлович** – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри *робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування*, м. Львів, Україна; ORCID: 0000-0003-0584-6104, e-mail: andrii.m.kuk@lpnu.ua

**Kuk Andrii** – Candidate of Technical Sciences, PhD, Lviv Polytechnic National University Docent of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv, Ukraine, ORCID: orcid.org/0000-0001-9145-243X, e-mail: andrii.m.kuk@lpnu.ua

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

Сліпчук А. М., Яким Р. С., Кук А. М. Дослідження покращеного з'єднання «зубок-шарошка» шляхом введення додаткового елемента для бурових доліт. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (12). С. 33-41. doi: 10.20998/2413-4295.2022.02.05.

*Please cite this article as:*

Slipchuk A., Jakym R., Kuk A. Investigation of the improved "insert cutter – cone" connection by introducing an additional element for roller cone bits. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2022, no. 2 (12), pp. 33–41, doi:10.20998/2413-4295.2022.02.05.

*Надійшла (received) 28.05.2022*