

*А.М. СЛІПЧУК, Р.С. ЯКИМ*

### ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ СПРЯЖЕННЯ «КОМБІНОВАНИЙ ЗУБОК – ШАРОШКА» БУРОВИХ ДОЛІТ НА ПРИКЛАДІ 3-D МОДЕЛІ

Аналітично встановлено характер та величину напруженого стану в спряженні «комбінований зубок – шарошка». На основі отриманих результатів обґрунтовано ефективність застосування запропонованої конструкції вставного породоруйнівного оснащення, що реалізовує ефект раціонального розподілу значень натягів по всій довжині спряженої поверхні. Удосконалена конструкція кріплення «комбінованого зубка» у шарошку забезпечує високу надійність такого оснащення, і крім того істотно спрощує технологію виготовлення отворів у шарошках. За результатами моделювання встановлено величину напруження у зубку, вставці та шарошці під час експлуатації такого долота. Результати моделювання напруженого стану в спряженні підтвердили дані, які отримали експериментальним шляхом, а саме: підвищено жорсткість з'єднання «комбінований зубок – шарошка» за рахунок зменшення запасу міцності кріплення та кращими умовами спряження в контакт, за рахунок однорідності матеріалів (у даному випадку «сталь – сталь»).

**Ключові слова:** міцність, надійність, комбінований зубок, шарошка, напружений стан, натяг, з'єднання, вставні комбіновані породоруйнівні зубки.

*А.Н. СЛИПЧУК, Р.С. ЯКЫМ*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ «КОМБИНИРОВАННЫЙ ЗУБОК - ШАРОШКА» БУРОВЫХ ДОЛОТ НА ПРИМЕРЕ 3-D МОДЕЛИ

Аналитически установлено характер распределения и величину напряженного состояния в соединении «комбинированный зубок - шарошка». На основе полученных результатов обоснована эффективность применения предложенной конструкции установленного породоразрушающего оснащения, реализующий эффект рационального распределения значений натяжения по всей длине сопряженной поверхности. Усовершенствованная конструкция крепления «комбинированного зубка» в шарошку обеспечивает высокую надежность такого оснащения, и кроме того существенно упрощает технологию изготовления отверстий в шарошки. По результатам моделирования установлено величину напряжения в зубки, вставке и шарошки во время эксплуатации такого долота. Результаты моделирования напряженного состояния в сопряженные подтвердили данные, получили экспериментальным путем, а именно: повышены жесткость соединения «комбинированный зубок - шарошка» за счет уменьшения запаса прочности крепления и лучшими условиями сопряжения в контакте, за счет однородности материалов (в данном случае «сталь - сталь»).

**Ключевые слова:** прочность, надежность, комбинированный зубок, шарошка, напряженное состояние, натяжение, соединение, вставные комбинированные породоразрушающие зубки.

*A.M. SLIPCHUK, R.S. JAKYM*

### RESEARCH OF STRENGTH IN CONNECTION «COMBINED TUNGSTEN CARBIDE INSET CUTTER - CONE» OF ROLLER CONE DRILL BIT FOR EXAMPLE 3-D MODEL

The character and magnitude of the stressed state in the connection "combined tungsten carbide inset cutter - the cone" are determined analytically. On the basis of the obtained results, the efficiency of the structures for the insertion rope-destroying equipment is substantiated. The effect of rational distribution of tensions throughout the length of the conjugate surface is realized. The improved design of the "combined tungsten carbide inset cutter" fixing in the cone ensures high reliability of such equipment, and in addition significantly simplifies the technology of manufacturing holes in cone. According to the simulation results, the value of the stress in the pin, insert and shaver during the operation of such a bit is set. The results of simulated stress states in conjugated data confirmed. The results are obtained experimentally. Increased stiffness of the connection "combined tungsten carbide inset cutter - cone" due to the reduction in the strength of the attachment and the best conditions of pinching, due to the homogeneity of materials (in this case, "steel - steel").

**Key words:** durability, reliability, combined tungsten carbide inset cutter, roller cone drill bit, cone, tension, connection.

**Вступ.** Надзвичайно важкі умови роботи породоруйнівного оснащення висувають комплекс вимог, поміж яких чільне місце посідають: застосування спеціальних матеріалів, забезпечення конструкційної міцності породоруйнівного зубка та надійності закріплення в тілі шарошки. Характер закріплення вставних твердосплавних зубків породоруйнівного оснащення шарошок є одним з головних чинників, що визначає експлуатаційні показники бурових доліт. У світовій практиці уже стало традицією систематично розширювати асортимент тришарошкових бурових доліт з різноманітним вставним породоруйнівним оснащенням. Висока ціна твердосплавного матеріалу вставних зубків обумовила пошук можливостей застосування їхніх комбінованих конструкцій [1-3]. Такі рішення, як правило, потребували суттєвих, а то і докорінних змін у технологію виготовлення породоруйнівного оснащення шарошок бурових доліт. Тому, за останні десятиліття, зважаючи на сучасні наукоємні підходи у

технології нафтогазового машинобудування, намітилася тенденція до мінімізації затрат часу і ресурсів для конструкторсько-технологічної підготовки виготовлення тришарошкових бурових доліт. Відтак, функціонально-орієнтована технологія виготовлення породоруйнівного оснащення ставить вимогу усестороннього вивчення способів та методів забезпечення міцності спряження «комбінований зубок – шарошка». Тому встановлення раціональних параметрів конструкції хвостовиків твердосплавних вставок тришарошкових бурових доліт є актуальною проблемою і має важливе практичне значення для долотобудування.

#### Основна частина.

За останні роки вирішення окресленої проблеми значний вклад внесено в роботах [4 – 10] та ін. Встановлено [4, 11], що руйнування в ділянці спряження з'єднання „зубок-шарошка” пов'язані не тільки з показниками міцності сталі шарошки, а й

конструкцією спряжених поверхонь отвору й хвостовика твердосплавної вставки. Важливою є також величина натягу в з'єднанні [12]. Низькі показники міцності сталі шарошки обмежують значення величини допустимого натягу безпекою утворення тріщин та зрізом шару матеріалу в отворі, а високі – безпекою утворення тріщин чи випадання твердосплавних вставок [13]. При високих значеннях границі плинності сталі шарошки, виникає крайовий ефект і концентрація напружень в зоні “отвір шарошки-зовнішній пояс” спричинює небезпеку утворення тріщин по краях отвору.

У випадку високої крихкості шарошок спостерігається відколювання фрагментів вінців та зубків (рис 1). Одночасно зауважено різний характер руйнування твердосплавних вставних зубків. Це пояснюється неоптимальним натягом у спряженні з'єднання „зубок-шарошка” [11 – 14].



Рис. 1 – Макротріщини в ділянці вершини шарошки та випадання твердосплавних зубків

Встановлено [14], що суттєво можна змінити напружений стан в ділянці контакту спряження з'єднання „зубок-шарошка”, і тим самим підвищити надійність з'єднання, якщо змінити та вдосконалити конструкції хвостовика твердосплавної породоруйнівної вставки.

Відомі спроби змінити конструкції хвостовика зубків під їхнє паяння або заплавлювання рідкою сталлю в тіло шарошки [1,2]. Проте спосіб паяння твердосплавних зубків не знайшов застосування при виготовленні доліт великих діаметрів, де можна було б отримати значний ефект.

Здійснений теоретичний аналіз жорсткості з'єднання „зубок-шарошка” [4]. Автори прогнозують підвищення ефективності з'єднання за рахунок збільшення довжини частини зубка, що вплавляється. Однак при цьому неминуче збільшуються розміри вузла опори. В розрахунковій моделі припускається, що коливання здійснюються без опору, тобто контактний шар має лише пружні властивості, а шарошка жорстка.

Авторами [15] запропоновано здійснювати з'єднання „зубок-шарошка” сплавленням, яке ґрунтується на змочуванні поверхні зубка металом шарошки, розчиненням, взаємною дифузією з наступним утворенням твердого зв'язку. Наведено залежності, які дозволяють визначити напруження в твердосплавному зубку, нанесеному шарі і металі

шарошки. Для порівняння розглядали напружено-деформований стан з'єднання з натягом „зубок-шарошка”. Автори оперують середніми значеннями напружень, отриманими з співвідношень нормальних  $\sigma_r$  і тангенціальних  $\sigma_\tau$  напружень в циліндричних тілах. Проте в області контактної зони з'єднання „зубок-шарошка” діють радіально-стискаючі  $\sigma_r$ , тангенціальні  $\sigma_\tau$  і поздовжньо-осьові напруження  $\sigma_z$ .

Для зменшення імовірності руйнувань при пресуванні твердосплавних вставок в отвори тіла бурового інструменту встановлені параметри західної фаски, а також висунуті рекомендації щодо знежирення спряжених поверхонь вставки і отвору для кращого зчеплення [15].

В статті досліджено характер та величину напруження у контакті „зубок-шарошка”, яке виникає у долоті при роботі, а також характер взаємозв'язку між конструктивними особливостями хвостовика породоруйнівних вставок та напруженим станом у спряжених деталях.

Аналіз поверхонь отворів під твердосплавне вставне оснащення виявив сліди пластичної деформації та фретінгового зносу. У всіх випадках в ділянці виходу зубка з отвору тіла шарошки було зафіксовано помітні ділянки притертості з ідеально чистою поверхнею і слідами наклепу, також можуть траплятися тріщини. Найбільш виражена площа контакту в посадці „зубок – шарошка” зафіксована в верхній і нижній частинах поверхні отвору. Тут найбільш помітна пластична деформація у формі вм'ятини від краю основи дна хвостовика (рис. 1), що може бути пояснене значною жорсткістю системи „зубок – шарошка – вибій”. Відтак, відбувається прогресуюче у міру відробки долота розхитування твердосплавного зубка в отворі шарошки [16].

Отже, найбільш перспективним з огляду на напружений стан в зубку і шарошці є шлях зменшення жорсткості робочої системи „порода – зубок – шарошка” [16]. Це позитивно впливає на довговічність твердосплавного оснащення бурових доліт.

Відтак, поставлено задачу вивчити характер напруженого стану нової конструкції хвостовика вставного твердосплавного оснащення тришарошкових бурових доліт (конструкція породоруйнівної вставки, описана в [13]), шляхом оптимізації жорсткості системи „порода – зубок – шарошка”.

У відповідності до існуючого технологічного процесу складання бурових шарошкових доліт в з'єднанні „зубок-шарошка” робочий натяг повинен знаходитися між  $N_{\min}=0,081$  мм та  $N_{\max}=0,144$  мм.

Поверхня хвостовика даної конструкції складається з рівних частин твердого сплаву і сталі. Виконання кільця на меншому діаметрі хвостовика твердосплавного зубка дозволяє не тільки підвищити надійність з'єднання вставки з тілом породоруйнівного інструменту, а також оптимізувати жорсткість кріплення зубка, що забезпечує високу стійкість твердосплавного зубка до руйнування. Тобто, кільце виконує роль буфера, який одночасно підвищує

міцність пресового з'єднання і знижує жорсткість між тілом породоруйнівного інструменту та твердосплавним зубком.

Для експериментальних досліджень були проведені стендові випробування шарошкового долота 250,8 ТКЗ – ПГВ – Д27Б з експериментальними зубками (рис. 2). Зубок виготовлено з сплаву ВК10КС-К, для якого  $\sigma_T = 1900$  МПа. Шарошки та кільця хвостовиків зубків виготовлено з сталі 14ХН3МА, для якої  $\sigma_T = 900$  МПа. Для можливості порівняльної оцінки працездатності експериментальної конструкції зубка через один встановлювали зубки стандартної конструкції.



Рис. 2 – Загальний вигляд долота з експериментальними породоруйнівними вставками після відпрацювання 8 год. в стендових умовах

Випробування долота проводилось на металевому вибої зі сталі 20 при осьовому навантаженні 220-250 кН та частоті обертання долота 60 – 75 об/хв, що дозволяє в необхідній мірі імітувати реальні умови роботи долота (рис 2).

Оскільки контактний зв'язок зубка з тілом шарошки є єдиним чинником, що забезпечує міцність з'єднання, розглянемо вплив механічних властивостей матеріалів тіла шарошки і зубка на величину сил контактного зв'язку і натяги в з'єднанні.

Глибина посадки експериментальних зубків та створеної 3D моделі становила 10 мм, з яких 5 мм – висота сталевго кільця, закріпленого на твердосплавній ступені хвостовика меншого діаметру, і 5 мм – висота твердосплавної ступені хвостовика більшого діаметру. Деяка частина цієї глибини відноситься до тіла вінця, а найбільша, де знаходиться сталеве кільце – до тіла шарошки. Оскільки вінець є виступом на тілі шарошки і має близькі вільні грані, напружений стан тіла вінця і шарошки будуть відрізнятися один від одного (рис. 3).

При посадці з натягом контактні тиски визначаються відомими формулами Ляме.

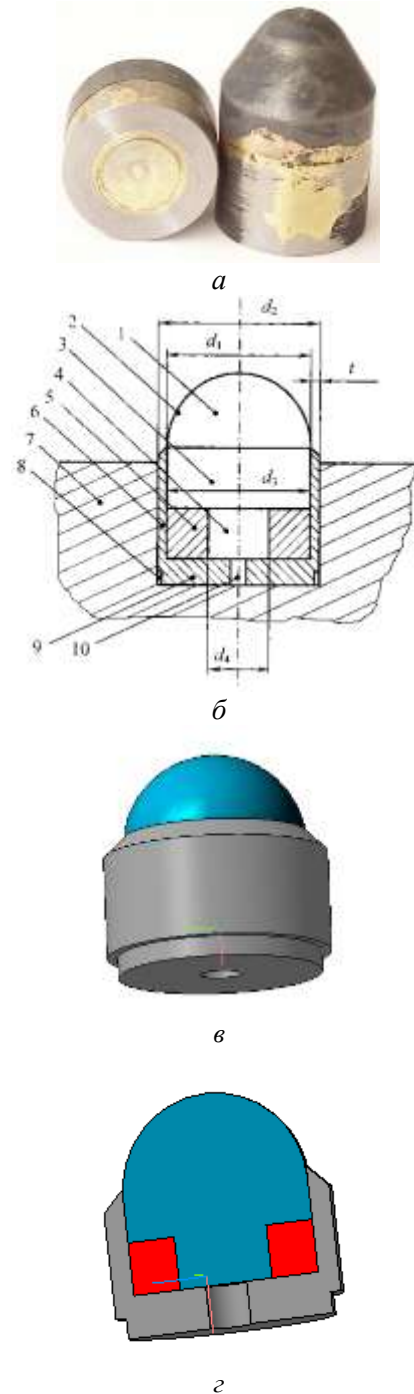


Рис. 3 – Об'єкт дослідження: а – загальний вигляд, б – схематичне зображення конструкції, в – 3D модель породоруйнівної вставки, г – розріз 3D модель породоруйнівної вставки згідно:

1 – твердосплавний елемент (зубок), 2 – робоча головка, 3 – ступінь хвостовика із більшим діаметром, 4 – ступінь хвостовика із меншим діаметром, 5 – кільце, 6 – проміжна втулка, 7 – гніздо корпусу інструменту, 8 – циліндрична втулочка, 9 – дно проміжної втулки, 10 – центральний отвір

Оскільки розмір шарошки у порівнянні до зубка на порядок більший, то тиск в зоні контакту зубка з тілом шарошки виразиться формулою

$$p_k = \frac{N}{d_3} \left( \frac{1 - \mu_3}{E_3} + \frac{1 + \mu_{ш}}{E_{ш}} \right)^{-1}, \quad (1)$$

де:  $d_3$  – діаметр зубка (15,28 мм);

$N$  – величина натягу при посадці зубка в шарошку (мм);

$\mu_3$  – коефіцієнт Пуассона для матеріалу хвостовика зубка (для сталі кільця – 0,3 для твердого сплаву – 0,24),

$\mu_{ш}$  – коефіцієнт Пуассона (для матеріалу шарошки – 0,3);

$E_3$  – модуль пружності для матеріалу хвостовика зубка (для твердосплавної ступені хвостовика –  $5,6 \cdot 10^5$  МПа, а для сталевого кільця хвостовика –  $2,1 \cdot 10^5$  МПа);

$E_{ш}$  – модуль пружності для матеріалу шарошки –  $2,1 \cdot 10^5$  МПа.

В області контактної зони як в тілі шарошки, так і в тілі зубка виникають радіально-стискаючі  $\sigma_r$ , тангенціальні  $\sigma_\tau$  і поздовжньо-осьові напруження  $\sigma_z$ .

Враховуючи що  $[\sigma_p]_{ш} < [\sigma_p]_з$ , можна констатувати, що в тілі шарошки навколо спряження виникає напруження більше за границю плинності. Тому величина натягу повинна обґрунтуватися для попередження тріщиноутворення. Відтак контактний тиск на рівні висоти виступу вінця шарошки (1) встановиться з

$$p_k(l) = \frac{N}{d_3} \left( \frac{1 - \mu_3}{E_3} + \frac{l^2 + d_3 + \mu_{ш}}{l^2 - d_3 + E_{ш}} \right)^{-1} \quad (3)$$

де  $l$  – ширина вінця шарошки.

Отже у запропонованій конструкції шарошки, яка зображена на рис. 4 досліджувався напружений стан. Аналізом характеру пошкоджень аналізованих вінців встановлено, що вони зазнають найбільших навантажень, що узгоджується з даними в дослідженні [14].

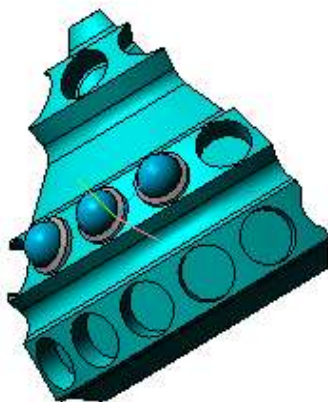


Рис. 4– Сегмент 3-D шарошки тришарошкового бурового долота діаметром 302мм без навантаження

Згідно здійснених досліджень тепер проведемо аналіз міцності шарошки долота удосконаленої конструкції діаметром 302мм на яку діє зведена сила яка прикладена до основного твердосплавного зубка моделі і є рівна 28кН. Змодельовано такий випадок (рис.4): на основний зубок – прикладаємо 25кН на кожен. Моделювали ділянку контактного напруження з трьома зубками, які припадають на досліджувану ділянку впливу зубки – вибій, на кожен зі згаданих зубків припадало до 25кН [14]. Загалом у контактній зоні зубки знаходилися під навантаженням до 80 кН, що відповідно впливає на напружений стан вінців шарошки [14]. Крім того враховано тиск від натягу посадки „хвостовик зубка – вставка - отвір шарошки” – 114 МПа. Результати здійснених досліджень характеру напруженого стану у вінцях шарошки подано на рис. 5 а та б.

Аналізом характеру пошкоджень аналізованих вінців встановлено, що вони зазнають найбільших навантажень, що узгоджується з даними в дослідженні [16].

Після отриманих результатів (рис.5а, рис. 5б) можна побачити, що як і очікувалось найбільш напруженим місцем буде частина на зубку (рис. 5б).

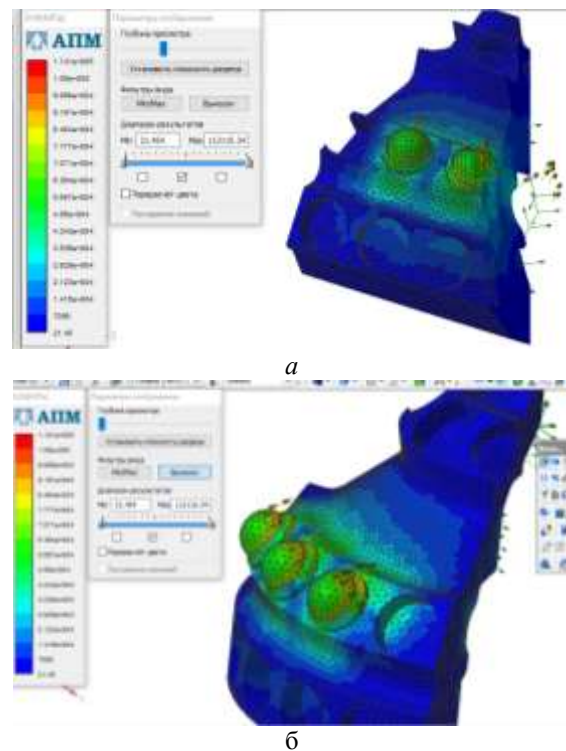


Рис. 5 – Моделювання напруженого стану у ділянках спряження „хвостовик зубка – отвір шарошки” на вінцях шарошки бурового долота діаметром 302мм: а,б – визуалізація чисельних досліджень

При взаємодії трьох елементів ”зубок-вставка-шарошка” контактні напруження на зубку можуть досягати більше 100000 МПа. Зважаючи, що маємо розподіл цих напружень по спряжених поверхнях, а також те, що проміжна втулка відіграє роль додаткового компенсатора, яка зазнає додаткових деформацій при пресуванні, забезпечується надійний

контакт між хвостовиком вставки та тілом вінця шарошки. Дія втулки як компенсатор добре ілюструється на рис. 6., де ділянка контакту є ребро навколо зубка.

В результаті проведених досліджень встановлено якісний взаємозв'язок між жорсткістю кріплення твердосплавного вставного озброєння в отворах шарошки та характером руйнування твердосплавних зубків. А саме, площа стикування спряжених поверхонь та напружений стан в з'єднанні визначають довговічність твердосплавного зубка.

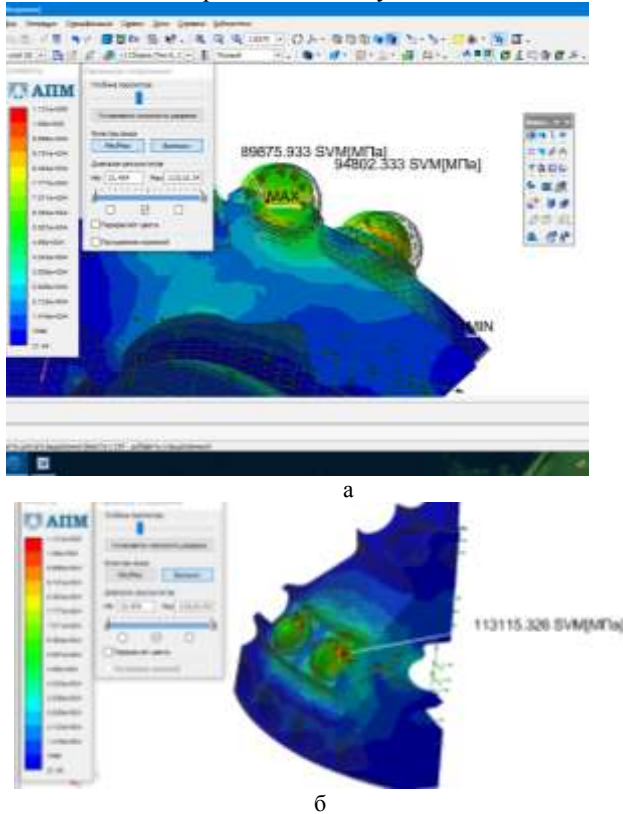


Рис. 6 – Візуалізація комп'ютерного дослідження: а – зображення найбільш напружених зон шарошки; б – зображення точки з найбільшим напруження на зубку шарошки

**Висновки.** Дослідженнями встановлено характер розподілу контактних напружень у спряжених ділянках „комбінований зубок – отвір шарошки” який вперше візуалізовано та графо-аналітично оцінено (рис. 5-6). Встановлено раціональні параметри конструкції породоруйнівних вставок, для які легко екстраполюються на різні типорозміри вставок. Моделюванням і аналізом встановлено сприятливий розподіл напруженого стану у небезпечній ділянці поверхні отвору у вінці шарошки. Аналізом (при оптичному збільшенні в 20 р.) контрольних ділянок у спряжених поверхнях не виявлено мікротріщин, які могли бути присутні у серійних долотах. Застосування породоруйнівних вставок уможливує спростити та здешевити технологію виготовлення шарошок. А саме, відпадає необхідність у захисті вінців від цементації (який є шкідливим техпроцесом), необхідності додаткового оброблення отворів (розвірчування, калібрування, підбирати дно). Моделювання процесу буріння

виявило працездатність породоруйнівного оснащення та забезпечує підвищення надійності з'єднання „зубок – шарошки”. Додатково введений елемент вставка дозволила змістити найбільш напружене місце із циліндричного ребра шарошки на зубок, який забезпечує вищу тріщиностійкість за рахунок сприятливіших фізико-механічних показників матеріалу. [16] Випробовування шарошок вдосконаленої конструкції у стендових умовах, при застосуванні металевого вибою, підтвердили ефективність отриманих параметрів вставного породоруйнівного оснащення шарошок [17].

Встановлено характер розподілу напруженого стану в з'єднанні «комбінований зубок – шарошка», яким обґрунтовано ефективність застосування конструкції вставного породоруйнівного оснащення, що реалізовує ефект раціонального розподілу значень натягів по всій довжині спряженої поверхні. Це забезпечує не тільки високу надійність вставного породоруйнівного оснащення, але й істотно спрощує технологію виготовлення отворів у шарошках під твердосплавне оснащення. Встановлено раціональної величини натягу при посадці твердосплавних зубків з комбінованим хвостовиком в тіло шарошки, які легко екстраполюються на інші типорозміри породоруйнівних вставок. Результати моделювання та розрахунку напруженого стану в з'єднанні підтвердили те, що підвищити жорсткість з'єднання можна збільшенням сили натягу за рахунок зменшення запасу міцності створюючи сприятливі умови для спряження в контакті максимально однорідних матеріалів (у даному випадку «сталь – сталь»).

Надалі актуальним є розробка нових раціональних конструкцій породоруйнівного оснащення шарошок, в тому числі породоруйнівних вставок, схем його ефективного розташування на вінцях шарошки. Окремих питанням подальших досліджень є вивчення проблеми функціональної та енергетичної взаємодії елементів опори та породоруйнівного оснащення.

#### Список літератури

1. Кершенбаума В. Я. Буровой породоразрушающий инструмент. Международная инженерная энциклопедия. Шарошечные долота / В. Я. Кершенбаума, А. В. Торгашова, А. Г. Мессера. – М.: Нефть и газ, 2003. – 257 с.
2. Масленников И. К. Буровой инструмент: справочник / Масленников И. К. – М.: Недра, 1989. – 430 с.
3. Жидовцев Н. А. Долговечность шарошечных долот / Жидовцев Н. А., Кершенбаум В. Я., Гинзбург Э. С. [и др.] – М.: Недра, 1992. – 272 с.
4. S.L. Chen. A Study of Drilling Performance of Energy Balanced Roller Cone Bit / S.L. Chen, J. Dahlem, C. Rayburn // SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, 9-11 September 2003, Jakarta, Indonesia. Paper Number 80493-MS.
5. Bybee K. Drilling Performance of an Energy-Balanced Roller-Cone Bit. / Bybee K. // Journal of Petroleum Technology. – 2003. – № 12. – P. 49-50.
6. Zhou, R.S. A Contact Stress Model for Predicting Rolling Contact Fatigue / Zhou R.S., Nixon H. // SAE Technical Paper 921720 in SEA Transactions Journal, Vol. 101, №. 2, Sept. 1, 1992.
7. Huang. Experimental research on the surface strengthening technology of roller cone bit bearing based on the failure analysis / Huang, Zhiqiang, Li Qin, Zhou, Jing Shuang, Ma Yachao, Hu Wengang, Fan Yongtao // Engineering failure analysis. vol 29. 2013. 12-26 P.
8. Naganawa Shigemi. Feasibility study on roller-cone bit wear detection from axial bit vibration / Naganawa Shigemi // Journal of petroleum

- science and engineering. vol: 82. 2012. 140-150 p.
9. Kryzhaniv's'kyi E. I. Contact fracture of rolling bodies of open bearings of three-cone rock bits in aqueous environment / *Kryzhaniv's'kyi E. I., Yakym, R. S., Shmandrov's'kyi, L. E., Petryna, Yu. D.* // Materials science journal. Vol. 46. №. 5. 2011. 607-612 p.
  10. Deng Yong. Theoretical and experimental study on the penetration rate for roller cone bits based on the rock dynamic strength and drilling parameters / *Deng Yong, Chen, Mian, Jin, Yan, Zhang Yakun, Zou Daiwu, Lu, Yunhu* // Journal of natural gas science and engineering. Vol. 36. 2016. 117-123p.
  11. Schroder Jon. Bearing innovations extend roller-cone bit life. oil & gas journal / *Schroder Jon, Di Pasquale Maurizio, Richards Alun, Yorty Jesse* // vol. 114 №. 6. 2016. 50-55 p.
  12. Яким Р. С. Науково-практичні основи технології виготовлення тришарошкових бурових доліт та підвищення їх якості і ефективності: монографія / Р.С. Яким, Ю.Д.Петрина, І.С.Яким. – Івано-Франківськ: Видання ІФНТУНГ, 2011. – 384 с.
  13. Петрина Ю.Д. Вплив фізико-механічних властивостей сталі шарошки на міцність з'єднання „шарошка-зубок” в тришарошкових бурових долотах / *Ю.Д. Петрина, Р.С. Яким, Т.Б. Пасинович* // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 3 (24). – С.73–78.
  14. Сліпчук А.М. Покращення якості технології процесу запресовування зубків у шарошки бурових доліт/ *Сліпчук А.М. Яким Р.С.* // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків, НТУ “ХПІ”, 2017. – Вип. 1 (27). – 186 с. 134-143с.
  15. Кривошея В.В. Перспективная технология сборки породоразрушающих инструментов. / *В.В.Кривошея, А.В.Мельничук* // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения / Тезисы докладов V Международной конференции / ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, – 2002. – С. 140 – 144.
  16. Сліпчук А.М. Покращення якості технології процесу запресовування зубків у шарошки бурових доліт/ *Сліпчук А.М. Яким Р.С.* // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Львів. – 2017. № 867 С.69-77.
  17. Ю.Д.Петрина Пат. 38856 Україна, МПК E21B 10/46. Породоруйнівна вставка / *Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким, Т.Б.Пасинович* -2009.
- References (transliterated)**
1. Kershenbauma V. YA. *Burovoy porodorazrushayushchiy instrument. Mezhdunarodnaya inzhenernaya entsiklopediya. T.1: sharoshechnyye dolota* [Drilling rock cutting tool. International Engineering Encyclopedia. Vol. 1 Cone bits ]. Moscow, Neft' i gaz Publ., 2003. - 257 p.
  2. Maslennikov I.K. *Burovoy instrument: spravochnik* [Drilling tool: a guide ]. Moscow. Nedra Publ., 1989. - 430 p.
  3. Zhidovtsev N. A., Kershenbaum V. YA., Ginzburg E. S. *Dolgovechnost' sharoshechnykh dolot* [Durability of roller bits]. Moscow. Nedra Publ., 1992, - 272 p.
  4. S.L. Chen, J. Dahlem, C. Rayburn. A Study of Drilling Performance of Energy Balanced Roller Cone Bit. *SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition*. 9-11 September 2003, Jakarta, Indonesia. Paper Number 80493-MS. doi.org/10.2118/80493-MS
  5. Bybee K. Drilling Performance of an Energy-Balanced Roller-Cone Bit. *Journal of Petroleum Technology*. - 2003. - № 12. 49-50 p.
  6. Zhou R.S., Nixon H. A Contact Stress Model for Predicting Rolling Contact Fatigue. *Journal of commercial vehicles*. 1992. Vol. 101, SECTION 2. pp. 556-563.
  7. Huang, Zhiqiang, Li Qin, Zhou, Jing Shuang, Ma Yachao, Hu Wengang, Fan Yongtao. Experimental research on the surface strengthening technology of roller cone bit bearing based on the failure analysis. *Engineering failure analysis*. 2013, vol. 29. pp 12-26.
  8. Naganawa Shigemi. Feasibility study on roller-cone bit wear detection from axial bit vibration. *Journal of petroleum science and engineering*. 2012. vol. 82. pp. 140-150.
  9. Kryzhaniv's'kyi E. I., Yakym, R. S., Shmandrov's'kyi, L. E., Petryna, Yu. D. Contact fracture of rolling bodies of open bearings of three-cone rock bits in aqueous environment. *Materials science journal*. 2011. Vol. 46. no. 5. pp. 607-612.
  10. Deng Yong, Chen, Mian, Jin, Yan, Zhang Yakun, Zou Daiwu, Lu, Yunhu. Theoretical and experimental study on the penetration rate for roller cone bits based on the rock dynamic strength and drilling parameters. *Journal of natural gas science and engineering*. 2016. Vol. 36. pp. 117-123.
  11. Schroder Jon, Di Pasquale Maurizio, Richards Alun, Yorty Jesse. Bearing innovations extend roller-cone bit life. *Oil & gas journal*. 2016. vol. 114 no. 6. pp. 50-55.
  12. R.S. Yakim, YU.D.Petrina, I.S.Yakim. *Nauchno-prakticheskiye osnovy tekhnologii izgotovleniya trisharoshkovykh burovyykh dolot i povysheniya ikh kachestva i effektivnosti* [Scientific and practical bases of the technology for manufacturing cone drill bits and improving their quality and efficiency]. Ivano-Frankovsk, IFNTUNG Publ., 2011, 384 p.
  13. YU. D. Petrina, R.S. Yakim, T. B. Pasinovich. Vliyaniye fiziko-mekhanicheskikh svoystv stali sharoshki na mitsnist' soyedineniye "sharoshka-zubok" v trisharoshkovykh burovyye dolota [Influence of physical and mechanical properties of steel cones on the strength of the connection "Cone-tungsten carbide inset cutter" in the drill bits] *Razvedka i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*. [Prospecting and Development of Oil and Gas Fields]. Ivano-Frankovsk. 2007. Vol. 3 no.24. pp.73-78.
  14. Slipchuk A.M. Yakim R.S. Uluchsheniye tekhnologii protsessa zapressovki zubkov v sharoshki burovyykh dolot [Refinement technology pressing of tungsten carbide inset cutter in roller cone bit] *Vysokiy tekhnologii v mashinostroyeni: sb. nauk. trudov*. [New solutions in modern technologies. Collected Works] - Khar'kov, NTU "KHPI" Publ., 2017. - Vol. 7, no. 1229. pp. 134-143.
  15. Krivosheya V.V., Mel'nichuk A.V.. *Perspektivnaya tekhnologiya sborki porodorazrushayushchikh instrumentov*. [Promising assembly technology rock cutting tools]. *Porodorazrushayushchiy i metalloobrabatyvayushchiy instrument - tekhnika i tekhnologiya yego izgotovleniya i primeneniya / Tezisy dokladov V Mezhdunarodnoy konferentsii ISM im. V. N. Bakulya NAN Ukrainy*. [Type destructive and metalworking tools - technology and technology of its manufacture and use. Abstracts of the V International Conference name's. V. N. Bakulya]. Kiev, IPTS ALKON NAN Ukrainy Publ., 2002, pp. 140 – 144
  16. Slipchuk A.M. Yakim R.S. Uluchsheniye tekhnologii protsessu zapressovki zubtsov v sharoshki burovyykh dolot [Improving the quality of the technology of the process when preserving tungsten carbide inset cutter in the cone]. *Vest. Natsional'nogo universiteta "Lvovskaya politehnika"*. *Optyimizatsiya vyrobnychyykh protsesiv i tekhnichnyy kontrol' u mashinobuduvanni ta prykladobuduvanni*. [Bulletin of the L'vov Polytechnic Institute. Series: Production Processes Optimization and Technical Control in Engineering and Instrumentation]. L'vov, 2017. Vol. 867. pp. 69-77.
  17. YU.D. Petrina, R.S.Yakim, T.B.Pasinovich. *Porodorazrushayushchiy vstavka* [The insert for destructive a breed] Patent 38856 Ukraina, 2009

Поступила (received) 04.10.2018

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Сліпчук Андрій Миколайович (Слипчук Андрей Николаевич, Slipchuk Andrey Nikolaevich)** – кандидат технічних наук, доц. кафедри технології машиностроєння Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів; тел.: (032)-258-25-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0584-6104>, e-mail: andsl@ukr.net

**Яким Роман Степанович (Якым Роман Степанович, Yashkym Roman Stepanovich)** – кандидат технічних наук, проф., Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка, м. Дрогобич; тел.: (067)9070484; e-mail: Jakym.r@online.ua