

А. М. Сліпчук, Р. С. Яким\*

Національний університет "Львівська політехніка",

\*Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І. Франка

## ПРОЕКТУВАННЯ НОВИХ ПРОДУКТОВИХ ЛІНІЙ ШАРОШОК ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХНЬОГО ВИГОТОВЛЕННЯ

© Сліпчук А. М., Яким Р. С., 2016

Мета дослідження – вирішити проблему підвищення якісних показників вставного породоруйнівного оснащення шарошок тришарошкових бурових доліт. Дослідження проводились як в умовах реального виробництва бурових доліт, так і на етапі моделювання у САД-системі, із комплексним застосуванням експериментальних лабораторних, стендових і натурних експлуатаційних випробовувань. Теоретично й експериментально обґрунтовано розроблені підходи для вдосконалення комплексного підвищення якісних показників вставного породоруйнівного оснащення шарошок бурових доліт на етапах проектування, конструювання і виготовлення. Розв'язано задачу вдосконаленням конструкторських параметрів й способу розміщення породоруйнівного оснащення шарошок тришарошкових бурових доліт, що враховує фізико-механічні показники матеріалів та конструкторсько-технологічні параметри спряжених поверхонь "зубок – шарошка".

**Ключові слова:** шарошка, твердосплавні зубки, селективні групи, бурове долото, натяг.

The aim of research is the improvement in quality indicators embedded rock cutting equipment of cutter drill bits. Research carried out as in a real production drilling bits and during modeling in CAD-system, integrated use of experimental laboratory, bench and field operational tests.

Theoretically and experimentally proved developed approaches to improve quality indicators comprehensively improve the embedded rock cutting equipment cutters drill bits during the design, construction and manufacturing. The problem of improving the design parameters and method of placement of rock cutting equipment cutters drill bits, taking into account the physical and mechanical properties of materials and design and technological parameters of conjugated surfaces "tooth – rolling cutter".

**Key words:** cutter, carbide teeth, selective group, drill bit, tension.

**Постановка проблеми.** Для буріння особливо міцних порід широко застосовують велику гаму типорозмірів та конструкцій тришарошкових бурових доліт з вставним твердосплавним породоруйнівним оснащенням. Відомо, що характер розміщення вставного породоруйнівного оснащення, його кількість на вінцях шарошок, особливості форми породоруйнівальної частини вставних зубків тощо визначають якісні технологічні показники формоутворення вибою і свердловини. Породоруйнівне оснащення працює у надзвичайно важких умовах. Після відпрацювання доліт фіксуються руйнування твердосплавних зубків та спряжених з ним елементів вінців. Втрата функціональності породоруйнівної дії долота на вибої призводить до прямих збитків під час бурових робіт. Отже, поряд з проблемою підвищення довговічності та ефективності вставного породоруйнівного оснащення, існує маловивчена проблема розширення асортименту виготовлюваних нових продуктивних ліній бурових доліт. Вирішення окресленої проблеми передбачає вдосконалення комплексного підходу щодо конструкторсько-технологічного забезпечення надійності з'єднання „зубок – шарошка” для створення умов сприятливого напруженого стану в тілі зубків та у вінцях шарошки, що також дає змогу поліпшити якість технологічного процесу складання з'єднання "зубок–шарошка".

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідження впливу механічних властивостей матеріалів тіла шарошки і зубка та конструкторсько-технологічних параметрів на надійність і міцність з'єднання „зубок–шарошка” є актуальними й мають важливе практичне значення. Окреслених досліджень стосуються роботи [1–6] та ін. Аналіз цих робіт дає підставу твердити, що для підвищення довговічності вставного породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт потрібно комплексно вирішити завдання з встановлення раціональних натягів у з'єднанні „зубок–шарошка”, поліпшення якості формоутворення отворів у шарошці під хвостовики породоруйнівних вставок та якості процесів складання і розроблення нових конструкцій хвостовиків породоруйнівних вставок, а також забезпечити умови економії цінних матеріалів.

Відомі також розв'язання задачі способом спрощення моделювання напружено-деформованого стану в з'єднанні „зубок–шарошка” [7]. Однак, як показано в [8], запропоновані спрощення не дають змоги врахувати специфіку спряження. Такі спрощення можуть бути застосовані для проектування пресування вставок у тіло спинки лапи (для запобігання її зносу), оскільки тут немає змінного перерізу. Натомість шарошка, її вінці, конструкція породоруйнівного оснащення зумовлюють вимоги щодо врахування напруженого стану від конструкції вінця, в який пресуються твердосплавні зубки.

Вимоги, які ставляться до фізико-механічних, експлуатаційних властивостей шарошки і зубка, суперечливі, а в деяких випадках взаємовиключні. Це вимагає докладного і всебічного виявлення та вивчення чинників, передусім фізико-механічних, які впливають на міцність з'єднання „зубок–шарошка”.

У роботах [9, 10] та ін. досліджено вплив конструкторсько-технологічних параметрів пресового з'єднання на його надійність, що визначається фактичним натягом. У роботах переконливо доведено необхідність всебічного вивчення здатності таких з'єднань витримувати робочі навантаження із урахуванням сумісного впливу основних параметрів: геометричних розмірів деталей, пружних констант і твердості цих матеріалів, параметрів шорсткості та напрямку слідів механічного оброблення на спряжених поверхнях, характеру деформації й мікронерівностей тощо. Стосовно пресових з'єднань у машинобудуванні такі дослідження інтенсивно проводяться. Що ж стосується з'єднання „зубок–шарошка”, то отримані результати, описані в роботах [3–6], вказують на застосування комплексного підходу до вирішення окресленої проблеми.

Вплив технологічних параметрів на надійність з'єднання „зубок–шарошка” досліджено у роботах [3, 11], в яких проблема вирішується організацією процесу складання за допомогою формування селективних груп зубків і отворів. Застосування селективного складання дає змогу отримати однорідніші з'єднання деталей: в пресових посадках найбільший натяг зменшується, найменший – збільшується, і обидва вони наближаються до середнього. Зменшення різниці між натягами підвищує однорідність, а отже, і якість з'єднання.

Автори [1], на основі малих статистичних вибірок лінійних розмірів партії одного типорозміру зубків та відповідної кількості отворів у шарошці, розглянули величини імовірних натягів у з'єднанні „зубок–шарошка”. У результаті для встановленого номінального діапазону натягів (0,111–0,167 мм) доліт 250,8 ОКП-ГВ рекомендовано зменшити діаметр отвору в корпусі шарошки до величини  $12,66^{+0,05}$  мм. Однак, зважаючи на велику кількість зубків, що пресуються в різні типорозміри шарошок, сьогодні на виробництві застосовується найперспективніший спосіб – формування селективних груп зубків. Одночасно ведуться активні роботи щодо забезпечення і контролю точності формоутворення отворів під посадку зубків.

На перспективність селективного складання вказують також останні дослідження з організації та автоматизації цього процесу [12]. Однак при цьому необхідно формувати селективні групи зубків не за кресленням, як на цьому наполягають автори, а відповідно до параметрів фактичних отворів під посадку зубка. Також у роботах приділено мало уваги геометричним параметрам селективних груп, які були б практичними у реальному процесі пресування твердосплавних вставок.

Важливим для забезпечення надійності вставного породоруйнівного оснащення є застосування спеціальних матеріалів та оптимізація параметрів пресування. Зокрема, в [13] показано, що у разі знежирення спряжених поверхонь ацетоном відбувається різке зростання як сили запресовування, так і сили випресовування. Авторі пояснюють це явищем схоплювання спряжених поверхонь. Процес попереднього деформувального прошивання отворів після свердління перед впресовуванням забезпечує високу точність отвору, при цьому спостерігали підвищення на 30 % стійкості з'єднання.

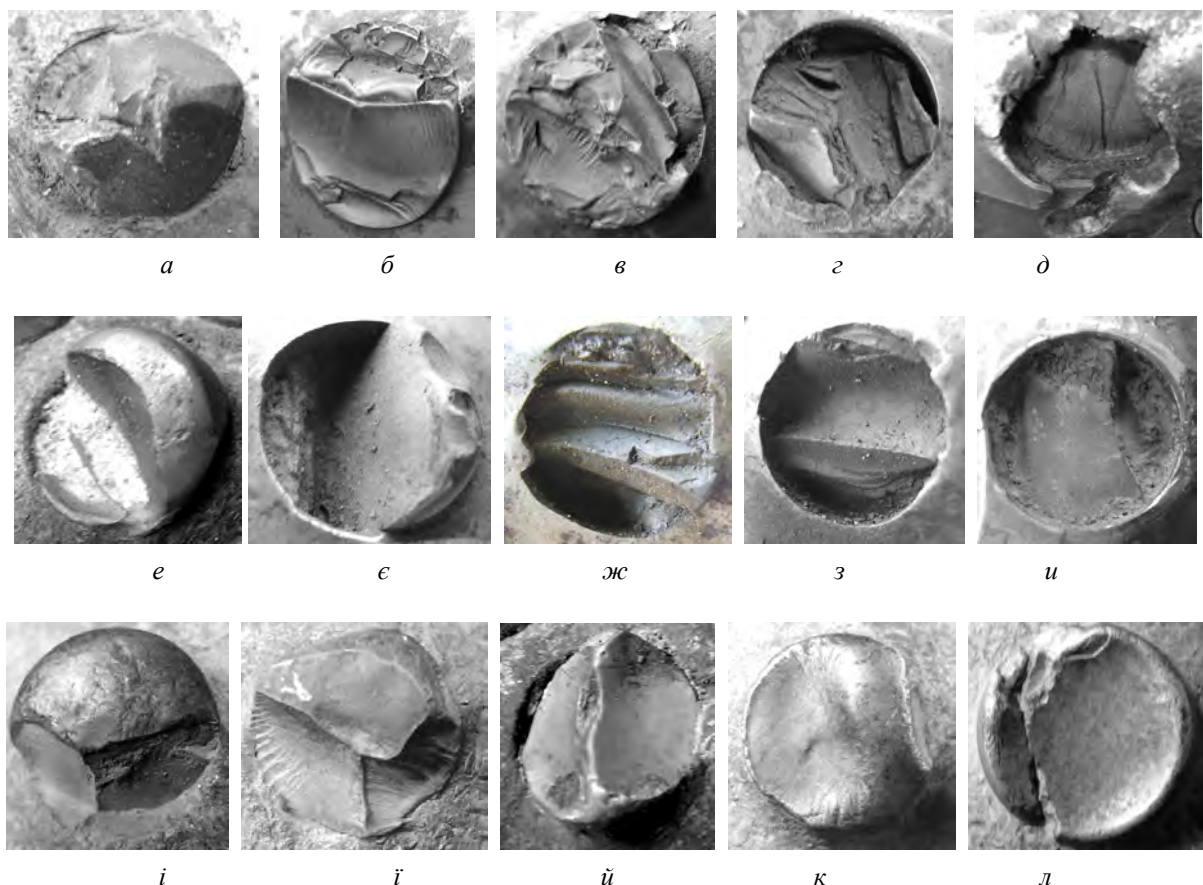
Істотно підвищити надійність з'єднання „шарошка–зубок” у бурових долотах можна за рахунок точності його складання [1–3, 6]. Точність складання характеризується величиною оптимального натягу, який є одним з чинників, що найсуттєвіше впливає на напружений стан в спряжених поверхнях з'єднання.

Напружений стан пресового з'єднання „зубок–шарошка”, як відомо, визначає величина натягу. З іншого боку, точність конструкторських параметрів спряжених поверхонь „шарошка–зубок” визначає характер цього напруженого стану, тому на це обов'язково необхідно зважати, встановлюючи раціональні натяги.

**Формулювання цілі статті.** Метою дослідження є розроблення практичних рекомендацій щодо вдосконалення конструкції та розширення функціональності вставного породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт. З цією метою необхідно дослідити вплив характеру й параметрів розміщення зубків у вінцях шарошки на напружений стан у спряжених деталях й встановити раціональні межі допустимих навантажень, які забезпечують міцність твердосплавних зубків й тіла шарошки під час технологічного процесу складання та під час експлуатації долота.

**Виклад основного матеріалу.** Під час оцінювання довговічності вставного породоруйнівного оснащення визначальною є тріщиностійкість твердосплавних зубків, тому однозначну відповідь на питання про раціональні натяги потрібно шукати, встановлюючи оптимальні напруження відповідно до конкретних фізико-механічних показників тіла вінця шарошки і хвостовика зубка. Тут критеріями оптимальності є показники тріщиностійкості матеріалів деталей.

На рис. 1 подано типові руйнування вставного твердосплавного оснащення шарошок.



*Рис. 1. Типові руйнування серійних твердосплавних вставних зубків:  
а–д – руйнування від вершини з утворенням великої кількості тріщин у зубку;  
е–и – руйнування від вершини з утворенням декількох тріщин у зубку;  
і–й – руйнування від вершини із самозаточуванням зубків;  
к–л – руйнування сколюванням породоруйнівної частини зубків*

Аналізували партії доліт з верхнім максимальним натягом у з'єднанні „зубок–отвір”, що у середньому дорівнював 0,23 мм, 0,19 мм, 0,16 мм (згідно з технологією виготовлення вінці шарошок захищені від цементації) [5].

За середнього натягу 0,23 мм у з'єднанні „зубок–отвір” зубок зазнає недопустимих внутрішніх напружень, що прискорюють його руйнування (рис. 1, *a–d*). Тут спостерігається інтенсивне тріщиноутворення і зубок буквально розсипається (рис. 1, *в, з*), у результаті фрагменти хвостовика завальцюються у тіло шарошки (рис. 1, *д*), що призводить до повної зупинки проходження долота.

Середній натяг 0,19 мм у з'єднанні „зубок–отвір” також призводить до прискореного руйнування твердосплавних зубків (рис. 1, *e–и*). Хоч тут не так інтенсивно проходять руйнування, але результат подібний – зубки руйнуються запідлице тіла вінця шарошки (рис. 1, *ж–и*) і долото повністю втрачає здатність руйнувати породу вибою.

Середній натяг 0,16 мм у з'єднанні „зубок–отвір” дає можливість очікувати найкращих показників довговічності твердосплавного вставного оснащення (рис. 1, *i–л*). Тут залежно від міцності твердого сплаву зубка і характеру навантаження з боку вибою відбувається або самозаточування зубків (рис. 1, *i–й*), або відколювання вражаючої частини зубків (рис. 1, *к–л*).

Встановлено, що фізико-механічні та експлуатаційні показники якісних плавок сталі 14ХНЗМА забезпечують найкращі показники для надійного кріплення вставних зубків і відтак довговічності вставного породоруйнівного оснащення шарошок (рис. 2, *б*). Одночасно зауважено, що високі значення натягу в з'єднанні „зубок–шарошка” спричинюють руйнування твердосплавних зубків за високої твердості вінців шарошок (рис. 2, *а*), що виявлено під час стендових випробовувань доліт.

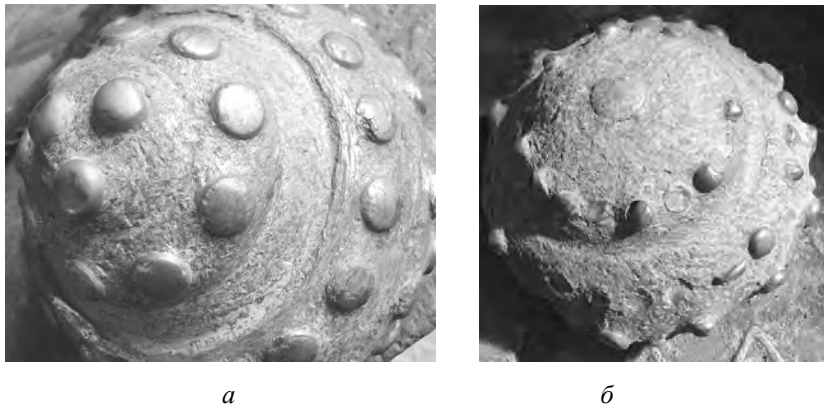


Рис. 2. Руйнування шарошок зі сталі 14ХНЗМА за натягів у посадці з'єднання „зубок–шарошка”:  
*а* –  $N \approx 0,15$  мм; *б* –  $N \approx 0,25$  мм

Застосування сталі 16ХНЗМА для шарошок дало до 3 % сколювання породоруйнівного оснащення, спостерігалось розхитування та випадання зубків [2]. Інший характер руйнування вставного породоруйнівного оснащення зафіксовано на шарошках зі сталі 20ХНЗА і 17НЗМА. Тут переважно зубки випадали через високу жорсткість в системі „шарошка–зубок–вибій”, що зумовлено нижчою границею плинності таких марок сталей (рис. 3).

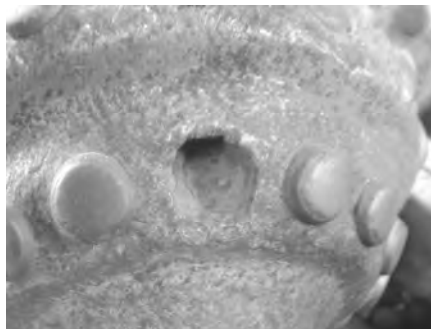


Рис. 3. Випадання зубка із шарошки, виготовленої зі сталі 20ХНЗА,  
у разі недостатнього натягу при посадці

Ще одним важливим пунктом у призначенні параметрів посадки є розподіл твердості від поверхні вінця шарошки у серцевину. Так, з плавним зменшенням твердості від HRC62-57 (на поверхні зміцненого шару вінця шарошки), до HRC40-35 (твердості на дні отвору під вставний зубок, що відповідає значенням твердості серцевини шарошки), міцність спряження „зубок–отвір” підвищується. При цьому збільшується величина граничного натягу, внаслідок чого може бути розширений допуск посадки.

Конструкторські параметри отворів також суттєво впливають на призначення посадок. Цю проблему вирішують технологічними способами. Зокрема свердління, підбір дна, розвірчування і зенкерування отворів під вставні зубки ведеться з одного встановлення із застосуванням спеціалізованого інструменту. На етапі підготовки виробництва здійснюється формування селективних груп зубків, відповідно до значень розмірів отворів у вінцях шарошки. На етапі складання з’єднання „зубок-шарошка” застосовується теплове і швидкісне пресування [3, 6].

Оцінювання напруженого стану в конструкціях шарошок долота діаметром 302 мм здійснено в середовищі, що уможливило органічне застосування у CAD-системах для проектування й підготовки виробів до освоєння й виготовлення сучасним виробництвом. Розглядали випадок характеру дії зведеної сили в 28 кН, прикладеної до однієї шарошки. Це зусилля розподіляється між вінцями шарошки й породоруйнівною поверхнею зубків (на один зубець припадає близько 5 кН).

Прототипом конструкції є один з найпростіших варіантів продуктової лінії доліт ОК, у яких зубки на вінцях розташовуються по центру і на однаковій відстані. Оскільки сучасні долота провідних фірм мають складні конструкції й різні способи розташування породоруйнівних зубків на вінцях, здійснено спробу розробити конструкцію, у якій твердосплавні зубки розташовуються з певним зміщенням парами. Попарне розташування забезпечує зменшення навантаження на зубок, завдяки чому зубки навантажуються майже одночасно. Також аналізом процесу розпресування з’єднання встановлено, що міцність з’єднання „зубок–шарошка” суттєво зростає зі зменшенням відстані між ними. Проблемою є встановлення мінімального значення відстані між парою вставних зубків, за якої зберігається тріщиностійкість тіла вінця.

Розрахунки й 3D-моделювання уможливили встановлення відстані між зубками у парі 4,2 та 4,3 мм у лінії. Це дасть змогу зменшити навантаження на зубок. У базовій конструкції, за рівномірного розміщення зубків на один зубок припадає 85 % усього навантаження, це орієнтовно для такої шарошки становитиме 80 кН. У запропонованій конструкції таке навантаження зменшиться на 35–40 %.

Результати моделювання розробленої конструкції шарошки подано на рис. 4. На вінці С та D (на рис. 4 це вінці 2 та 1) до чотирьох зубків, розміщених біля основного зубка, прикладаємо розподілену силу по 120 Н/мм<sup>2</sup> на зубець.

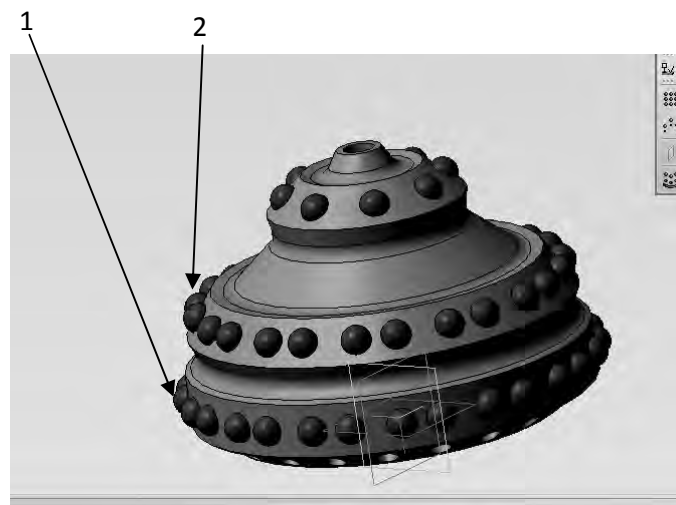


Рис. 4. Моделювання розробленої конструкції 3D-шарошки тришарошкового бурового долота діаметром 302 мм без навантаження

Для другого ряду навантаження передбачають такі самі, як і ряд 1, він є калібрувальним і витримує також високі навантаження. Відстань між парами зубків у вінці становитиме 9,8 мм та 11,4 мм. Такі розміри вибрано з конструкторських міркувань. З одного боку, така відстань не повинна бути великою, щоб кожна пара іншого вінця перекривала траєкторію іншої. З іншого боку, така відстань не повинна бути дуже малою, що призведе до перевитрат на матеріал зубків. Загалом у контактній зоні зубки перебували під навантаженням до 80 кН, що відповідно впливає на напружений стан вінців шарошки. Крім того, враховано тиск від натягу посадки „зубок–шарошка” – 114 МПа. Результати здійснених досліджень характеру напруженого стану у вінцях шарошки подано на рис. 5.

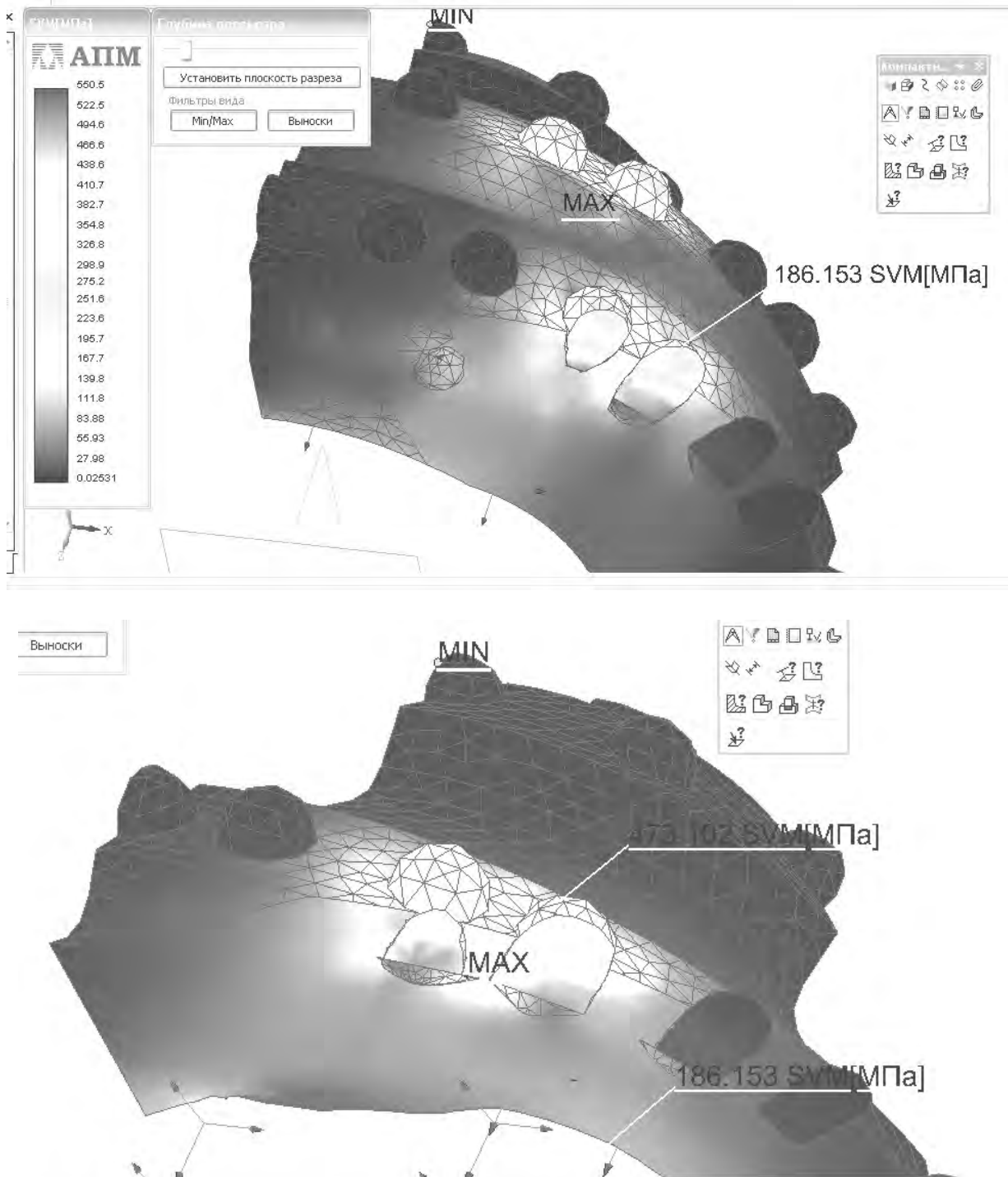


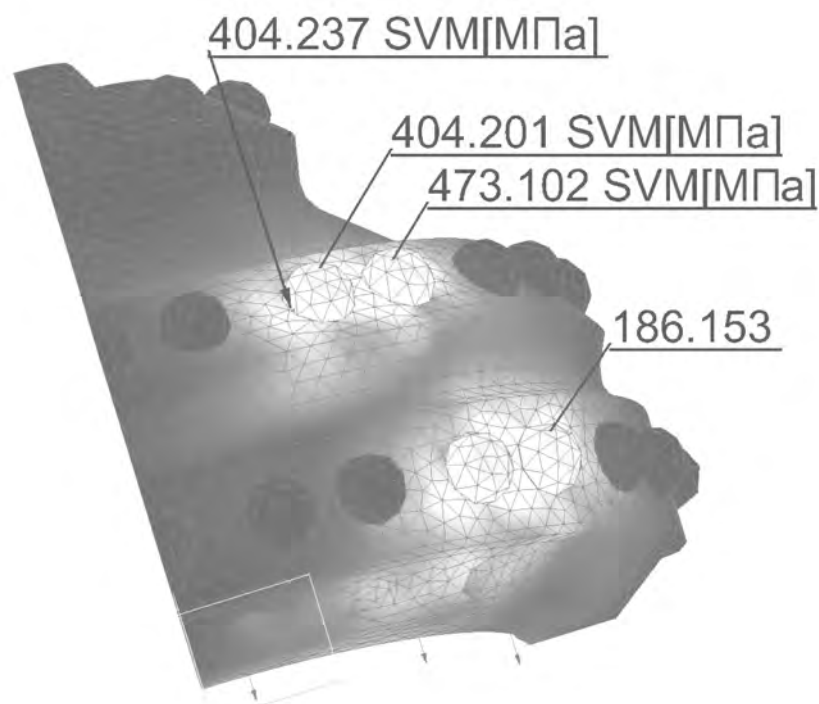
Рис. 5. Моделювання напруженого стану в ділянках спряження „хвостовик зубка–отвір шарошки” на калібрувальному й основних вінцях шарошки бурового долота діаметром 302 мм

Отже, у досліджуваній конструкції шарошки, у якої два основні вінця мали 12 пар у першому ряді, тобто 24 зубки та 14 пар зубків у другому ряді, отже, 28 зубків (зовнішній вигляд такої шарошки подано на рис. 4). Аналізом характеру пошкоджень аналізованих вінців встановлено, що вони зазнають найбільших навантажень, що узгоджується з даними [3].

Отримані результати (рис. 5) дають підстави твердити, що найбільші напруження виникають у ділянці виходу зубка з вінця шарошки. Напруження, що створюють в тілі вінця шарошки попарно розташовані вставні зубки, не перевищують границі міцності сталі шарошки. Напруження від посадки, яке дорівнює 114 МПа, також дає підстави очікувати ефект запобігання браку під час реалізації технологічного процесу виготовлення долота, а саме на етапі складальних операцій. Зауважимо, що моделювання злomu одного зубка на вінці не виявило схильності до перевантаження сусіднього. Це дає змогу припустити, що у новій конструкції усувається негативний ефект, притаманний типовим конструкціям – у випадку, коли ламається один зубок, то руйнується й наступний. Для усунення негативної дії абразиву на проміжки між парами зубків рекомендується внести зміни в процес зміцнення шарошок.

Здійснено також дослідження щодо вибору кількості вставних твердосплавних породоруйнівних елементів, їхніх геометричних параметрів. Така задача, як правило, розв'язується досягненням ефективного перекриття породоруйнівних елементів на вінцях шарошок за мінімальної кількості вставних зубків. Це забезпечує режим руйнування породи на вибої за мінімальних витрат твердого сплаву. Однак добитися різкого зростання значень проходу долота можливо за рахунок підвищення ефективності породоруйнівного ефекту шарошок бурових доліт. З цією метою вивчено характер напруженого стану тіла шарошки, якщо кількість зубків розмістити у такий спосіб.

На рис. 6 подано результати моделювання напруженого стану шарошки у 3D-моделі. Аналізом встановлено, що напруження у тілі зубка у межах до 550 МПа, що допустимо для цього матеріалу з граничною міцністю 1800 МПа, а для тіла вінців шарошки найнапруженішим виявилось місце у ділянці між зубками в основі твірної хвостовика зубка.



*Рис. 6. Моделювання напруженого стану у ділянках спряження „хвостовик зубка – отвір шарошки” на калібрувальному й основних вінцях шарошки зі збільшеною кількістю зубків (22 і 24 відповідно)*

**Висновки.** Встановлено характер розподілу контактних напружень у спряжених ділянках „хвостовик зубка–отвір шарошки”. Для створення сприятливого розподілу напруженого стану в ділянці поверхні отвору в вінці шарошки ефективним є запобігання виникненню тріщин. Для цього слід ретельно здійснювати захист від цементації вінців шарошки. Для конструкцій з багаторядним розташуванням твердосплавних зубків на вінцях ефективним є виконання вифрезерованих площадок на глибину цементованого шару, що запобігає викришуванню фрагментів вінців шарошки. Також встановлено, що збільшення удвічі кількості зубків на вінцях шарошки суттєво не змінює напруженого стану між вставними зубками. Це дає можливість різко підвищити ефективність агресивного впливу породоруйнівного оснащення на вибій та забезпечувати вищі технологічні показники доліт під час спорудження свердловин. Запропонований підхід щодо способу розташування вставних твердосплавних зубків не потребує докорінної чи значної зміни технологічного процесу складання з’єднання „зубок–шарошка.”

Випробовування шарошок вдосконаленої конструкції у стендових умовах, із застосуванням металевого вибою, підтвердили ефективність отриманих параметрів конструкції вставного породоруйнівного оснащення шарошок. Зокрема, ефективно забезпечується перекриття площини вибою, а зношення вінців шарошки не більше від базової конструкції. За 6 год роботи долота по металевому вибою породоруйнівне оснащення не зазнало помітних руйнувань. Створюючи екстремальні умови буріння, коли ламається один твердосплавний зубок на найнавантаженому вінці, не фіксували руйнування наступного по ходу обертання шарошки. Аналізом встановлено, що у ділянці „хвостовик зубка–отвір шарошки” не виникає тріщин.

Загалом, теоретично й експериментально обґрунтовано розроблені підходи до вдосконалення та комплексного підвищення якісних показників вставного породоруйнівного оснащення шарошок бурових доліт на етапах проектування, конструювання і виготовлення. Розв’язано задачу вдосконаленням конструкторських параметрів й способу розміщення породоруйнівного оснащення шарошок тришарошкових бурових доліт, що враховує фізико-механічні показники матеріалів та конструкторсько-технологічні параметри спряжених поверхонь „зубок–шарошка”. Це створює основу для проектування нових продуктивних ліній шарошок. Застосування імітаційного 3D-моделювання створює найсприятливіші умови не тільки для удосконалення наявної системи забезпечення якості на основних етапах створення тришарошкових бурових доліт, а й розроблення функціонально-орієнтованої технології їхнього виготовлення.

Надалі актуальним є розроблення нових конструкцій ефективного розташування вставного породоруйнівного оснащення шарошок, недопущення прокручування вставних твердосплавних породоруйнівних вставок, а також автоматизації процесів селективного складання з’єднання „зубок–шарошка”.

1. Підвищення якості кріплення твердосплавного озброєння шарошкових доліт / Є. І. Крижанівський, І. В. Воєвідко, Г. С. Веселовський, Р. Й. Гук // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.* – 2008. – № 4(29). – С. 17–21. 2. Петрина Ю. Д. Аналіз надійності з’єднання „зубок–шарошка” в тришарошкових бурових долотах / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, Т. Б. Пасинович // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.* – 2008. – № 1 (26). – С. 48–54. 3. 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. 4. Яким Р. С. *Основоположні засади вдосконалення конструкції вставного твердосплавного оснащення тришарошкових бурових доліт* / Р. С. Яким // *Нафтогазова енергетика.* – 2011. – № 1 (14). – С. 22–28. 5. Яким Р. С. *Підвищення якісних показників вставного породоруйнівного оснащення шарошок тришарошкових бурових доліт* / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.* – 2013. – № 3 (48). – С. 127–138. 6. *Підвищення надійності вставних породоруйнівних зубків в тришарошкових бурових долотах* / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, Д. Ю. Петрина, Т. П. Венгринюк, Н. Я. Пицків // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.* – 2014. – № 1 (50). – С. 82–87. 7. *Моделирование запрессовки зубков шарошечных долот в программном комплексе ANSYS* / В. Г. Шуваев, В. А. Патшев, Д. В. Анкундинов,



О. А. Прояева // Математические модели механики, прочности и надёжности элементов конструкций, Математическое моделирование и краевые задачи: труды четвёртой Всероссийской научной конференции с международным участием (Самара, 29–31 мая 2007 г.). – Часть 1. – Самара: СамГТУ, 2007, 289 – 292 с. 8. Яким Р. С. Проектно-конструкторські основи вдосконалення технології виготовлення шарошок із вставним твердосплавним породоруйнівним оснащенням тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, А. М. Сліпчук // Збірник наукових праць III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Прогресивні технології в машинобудуванні” (Львів 2–6 грудня 2015 р.) / МОН України, НУ „Львівська політехніка”. – Львів: Видавництво Нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2015. – С. 114–116. 9. Матлин М. М. Исследование зависимости действительного натяга от параметров прессового соединения / М. М. Матлин, Е. Н. Казанкина, В. А. Казанкин // Известия Волгоградского государственного технического университета: серия: Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. – 2008. – Вып. 4. – № 4(64). – С. 110–112. 10. Анализ влияния различных факторов на фактическую площадь контакта деталей соединений с натягом / М. М. Матлин, Г. П. Барабанов Е. Н. Казанкина, В. А. Казанкин // Известия Волгоградского государственного технического университета: серия: Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. – 2009. – Вып. 3. – № 11(59). – С. 88–91. 11. Кремлев В. И. Повышение долговечности буровых шарошечных долот на основе совершенствования технологии сборки и упрочнения шарошек с твердосплавными зубками: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.08 „Технология машиностроения” / В. И. Кремлев. – Самара, 2009. – 20 с. 12. Набатников Ю. Ф. Обеспечение качества соединений „твердосплавная вставка-отверстие” шарошечных буровых долот / Ю. Ф. Набатников, Е. И. Сизова // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 3. – С. 20–23. 13. 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 (пос. Морское, Крым 21–27 сентября 2002 г.) / ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины. – 2002. – С. 140–144.