

Дослідження впливу розміщення твердого сплаву на армованих поверхнях зразків вінцевих зубків шарошкових доліт на характер їх зношування / П.Войтенко, О.Семеґен, З.Одосій, О.Онисько // Вісник ТНТУ. — 2014. — Том 73. — № 1. — С.127-139. — (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

УДК 662.244.443

**П. Войтенко, канд.техн.наук; О. Семеґен; З. Одосій, канд.техн.наук; О. Онисько, канд.техн.наук**

*Івано-Франківський національний технічний університет  
нафти і газу*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІЩЕННЯ ТВЕРДОГО СПЛАВУ НА АРМОВАНИХ ПОВЕРХНЯХ ЗРАЗКІВ ВІНЦЕВИХ ЗУБКІВ ШАРОШКОВИХ ДОЛІТ НА ХАРАКТЕР ЇХ ЗНОШУВАННЯ**

**Резюме.** В процесі буріння шарошковими долотами внаслідок зношування та затуплення породоруйнівних елементів має місце суттєве падіння механічної швидкості буріння. Для підвищення стійкості вінцевих зубків шарошкових доліт типів М і С одну з твірних поверхонь наплавляють твердим сплавом реліту з допомогою струмів високої частоти або газополуменевим методом. При зношуванні в процесі руйнування породи таких зубків на певну величину внаслідок оголення незміцненої серцевини зубка, зношування останньої проходить інтенсивніше за зовнішню армовану та зміцнену поверхню, що призводить до збільшення площі, яка контактує з поверхнею вибою. В процесі проведених досліджень впливу розміщення армуючого твердого сплаву на наплавлених поверхнях встановлено, що раціональним розміщенням твердого сплаву на наплавленій поверхні можна зберігати породоруйнівну здатність робочих елементів у процесі їхнього відпрацювання. Раціонально розміщуючи твердий сплав при наплавленні вінцевих зубків шарошок бурових доліт типів М і С, розміри поверхонь яких дозволяють це робити, економлячи при цьому недешевий твердий сплав, можна суттєво підвищувати ефективність буріння без додаткових енергетичних витрат.

**Ключові слова:** гірська порода, шарошкове долото, породоруйнівні елементи, механічна швидкість буріння, вибій, зношування, армування.

**P. Vojtenko, O. Semegen, Z. Odosij, O. Onysko**

## **IMPACT STUDY OF THE DISTRIBUTION OF CEMENTED CARBIDE ON REINFORCED SURFACES OF SAMPLES OF THE CROWN BITS OF THE ROCK DRILLING BITS ON THE NATURE OF THEIR WEAR**

**Summary.** The paper deals with the study of the problem relating to the efficiency of the rock bit cutting structure work in the course of rock failure, which is associated with the rolling cutter teeth design peculiarities improvement. In the course of drilling with rock drilling bits, due to the wear and blunting of rock cutting elements, a significant drop in mechanical drilling speed occurs. To increase stability of the crown bits of rock drilling bits of M and C type, one of the forming surfaces is hard-faced with relit using high frequency currents or flame method. In the case of wear during rock failure of such bits for a certain amount as a result of exposure of unstable core of the bit, the wear of the latter occurs more intensely than of the reinforced external surface, which leads to an increase in the area that contacts the face surface. This paper gives the description of the study data obtained on the rock bit cutting structure durability in the form of milled investigated teeth while modeling their wear resistance conditions that are similar to the real ones. The effect of the working components of the rock bit cutting structure tools design peculiarities and their shape effect in the course of their wear on the rock failure are studied on the teeth penetration depth into the rock in particular. The degree of the initial rock failure characteristic of the patterns investigated was determined by the constant ability of their penetration depth into the elastic medium with the set physical and mechanical properties with the permanent axial loading by means of a specially developed device at the set period during their wear characteristics study. During the impact studies of the distribution of the reinforcing cemented carbide on flamed surfaces, it has been found that rational distribution of cemented carbide on flamed surface can preserve the rock cutting ability of working elements during their wear. Rational distribution of cemented carbide during the flaming of the crowned bits of drilling bits of M and C types, whose sizes of surfaces allow doing it, while saving expensive cemented carbide,

*can significantly increase drilling efficiency without additional energy costs. It has been confirmed that one of the efficient indices which can be characteristic both of the rock failure processes and those of possible wear and designing the rock failure tools appears to be the specific loading value transferred to the bottomhole while drilling.*

**Key words:** rock, rock drilling bit, rock cutting elements, mechanical drilling speed, face, wear, reinforcement.

**Умовні позначення:**

$m_y$  – математичне очікування;

$\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_m$  – коефіцієнт регресії;

$N$  – об'єм вибірки;

$n$  – кількість відрізків інтервалу інтегрування;

$a, b$  – границі інтегрування.

**Постановка проблеми.** Процес руйнування гірської породи шарошковим долотом зі звичайним зубчастим оснащенням здійснюється за рахунок створення робочими елементами об'ємного напруженого стану, при якому сили зчеплення між частинами породи не здатні їх утримувати в стані рівноваги.

При бурінні шарошковими долотами порід м'якої і середньої твердості має місце об'ємне руйнування, так як заглиблення зубків у такі породи здійснюється від одноразової місцевої дії на вибій з утворенням шламу порівняно великого розміру.

Руйнування порід м'якої твердості здійснюється в процесі значного проникнення робочого елемента в дану породу з утворенням чотирьох характерних зон, розміри і співвідношення яких визначають ефективність буріння м'яких порід [1].

Механізм деформування та руйнування крихких гірських порід має кілька різних трактувань. При цьому виділяють три основних етапи: подрібнення породи й утворення ущільненого ядра; поява тріщини розриву; розкриття цієї тріщини в бік зовнішньої поверхні вибою та відокремлення кусочків шламу. Останні інтенсивно витісняються через проміжки між інструментом і породу.

Ефективність руйнування породи залежить від границі опору розриву і зсуву. Чим менша границя міцності розриву і зсуву, тим на меншій глибині проникнення відбувається руйнування. При значному заглибленні робочого елемента тріщина розвивається інтенсивніше і за певних умов відбувається відрив частинки породи.

Найефективніше підведена потужність до вибою буде реалізована таким породоруйнівним інструментом і при такому режимі його роботи, які забезпечать мінімальну енергоємність руйнування породи, яку називають питомою об'ємною роботою руйнування [1]. У процесі буріння внаслідок зношування робочих елементів їхні початкові геометричні параметри змінюються, що призводить до збільшення площі взаємодії робочих елементів з вибоєм і, відповідно, до зменшення контактних напружень і ефективності буріння за рейс.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основні зусилля вчених направлялись на збереження працездатності оснащення збільшенням його стійкості. Певна робота проводилась над створенням зубків, які здатні зберігати контактні зусилля на вибій при бурінні, тобто самозагострюватись у процесі зношування робочих елементів [2].

Згідно з класифікацією форм зношування робочих елементів оснащення шарошкових доліт виділяють три [3]:

1) зі збереженням форми, яка близька до початкової, тобто зношування з загостренням. У цьому випадку зубки шарошки заглиблюючись у гірську породу, руйнують її в об'ємному режимі. При цьому частинки породи витискуються, зношуючи бокові поверхні зубків;

2) зі збереженням початкової форми з деяким заокругленням вершини. Така форма зношування має місце при бурінні твердішої абразивної гірської породи;

3) за площиною, яка паралельна початковому притупленню, тобто зношування з притупленням. Ця форма зношування має місце при бурінні твердих порід.

Крім того, виділяють різновидності приведених вище форм зношування зубків: з притупленням за площиною, нахиленою під деяким кутом до основи зубка внаслідок неоднакового зношування граней, несиметричне зношування вершини, нерівномірне зношування за довжиною зубка [4].

Сприятливим типом зношування зубків бурового долота є зношування з загостренням, при якому початкова геометрична форма зубка мало змінюється в процесі буріння, що повинно забезпечувати постійну механічну швидкість протягом усього рейсу [2, 5].

Більшість авторів вказують, що загострення зубків відбувається переважно при бурінні порід м'якої і, деякою мірою, середньої твердості. При збільшенні твердості порід зовсім інший характер взаємодії зубків з породою і, як наслідок, інша форма зношування зубка.

Для підвищення стійкості зубків шарошкових доліт пропонувалися різні схеми поверхневого армування твердим сплавом реліт поверхонь зубків доліт типу М, МС та С [10]. Трестороннє армування зубків шарошок застосовувалось для буріння абразивних порід долотами зі зміщеними осями шарошок. У долотах із позитивним зміщенням армувалася внутрішня поверхня зубків. При бурінні порід середньої абразивності застосовувалось двостороннє армування, при цьому збігаюча поверхня армувалася частково від вершини. Найпоширенішою схемою армування залишалась одностороння, оскільки інші схеми не дали очікуваного ефекту.

Багато авторів [2, 3, 7, 8] наголошували, що темп падіння механічної швидкості буріння залежить від того, якого профілю набувають зубки, зношуючись у процесі буріння, і що останній залежить від схем армування. Ними ж встановлено, що в породах М, МС і С мають місце досить сприятливі умови для самозаточування зубків, а зі збільшенням твердості порід такі умови погіршуються і зношування відбувається в основному з притупленням.

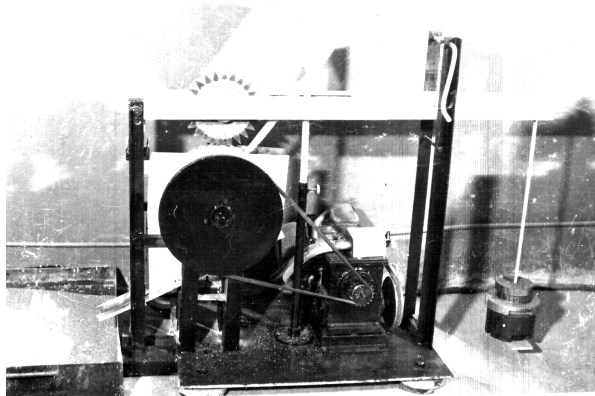
Дослідженнями цих же авторів встановлено, що форма зношування зубків армованих і неармованих в однакових умовах буріння різна: неармованих – з загостренням, армованих – з притупленням.

Покращенню роботи оснащення бурових шарошкових доліт типу М, МС і С в літературі приділялось мало уваги, оскільки основні зусилля дослідників з вивчення інтенсифікації руйнування гірських порід і удосконалення оснащення направлені для руйнування твердих і міцних порід. Пояснюється це тим, що моделювання умов роботи доліт з оснащенням такого типу в лабораторних і стендових випробуваннях досить ускладнене. Стендові випробування таких доліт з метою скорочення часу, як правило, проводять на зразках твердих порід, що не відповідає реальним умовам роботи цих доліт. Для створення умов, близьких до реальних, потрібно задіяти великий об'єм матеріалу для моделювання його руйнування в умовах вибою, а також значні малопродуктивні витрати часу.

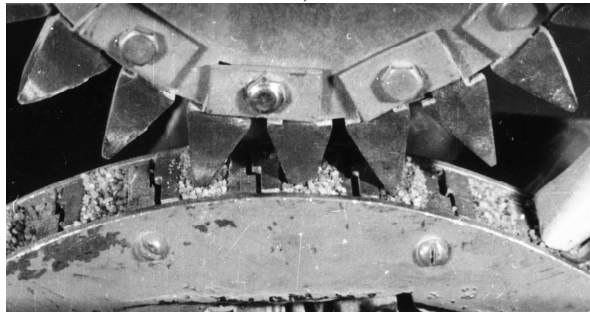
**Постановка завдання.** Вивчення ефективності роботи оснащення шарошкових бурових доліт у процесі руйнування гірської породи, що пов'язана з удосконаленням конструктивних особливостей зубків шарошок та раціональним розміщенням на їх поверхні та й об'ємі зубка твердого сплаву – реліту.

**Результати дослідження.** Для дослідження впливу розміщення твердого сплаву на наплавлених поверхнях вінцевих зубків на характер їхнього зношування в умовах, наближених до реальних, коли при бурінні має місце значне заглиблення зубчастого оснащення в породу при її руйнуванні, в Івано-Франківському національному університеті нафти і газу були виготовлені два стенди. Один – призначений для абразивного зношування дослідних зразків, виготовлених у вигляді зубків в умовах

змодельованої вибійної рейки (рис.1); другий – для оцінювання характеру зношування цих зразків з точки зору збереження ними руйнівних властивостей упродовж випробувань на абразивне зношування через певні проміжки часу (рис.2).



a)  
a)



б)  
b)

**Рисунок 1.** Стенд для випробування елементів оснащення бурового інструменту на абразивне зношування: а) загальний вигляд стенда; б) зона контакту

**Figure 1.** Stand for testing the elements of the cutting structure of the drilling tool for abrasive wear: a) general view of the stand; b) contact area

Стенд для випробування на абразивне зношування зубків бурового інструменту працює наступним чином. Натурні зразки досліджуваного матеріалу у вигляді фрезерованих зубків, попередньо зважених та проклеймованих, встановлюють в їх утримувач та вводять у контакт з контрзразком, який конструктивно складається з ведучого та рухомого веденого співвісних дисків з профільними зовнішніми зубчастими поверхнями. Навантажують зразки зусиллям за допомогою засобу для створення навантаження, встановлюючи необхідну кількість вантажів, подають абразив у зону контакту, використовуючи вузол подачі абразиву, який збирається після відпрацювання у піддоні. Після вмикання електродвигуна контрзразок приводиться в обертання через привод обертання необхідного передавального відношення. При цьому обертовий рух від електродвигуна передається через пасові передачі та черв'ячний редуктор на вал ведучого диска контрзразка, який через пружні елементи пов'язаний з веденим диском контрзразка з заданою частотою обертання. В результаті відбувається прокочування та ковзання робочої поверхні зубків поверхнею контрзразка через шар абразиву (рис.1,б).

Кожен зубок контрзразка утворений з двох частин, розділених радіальною площиною. Одна частина виконана на ведучому диску з торцевим видовженням у бік веденого диска на величину, що дорівнює його товщині, інша частина зубка виконана на веденому диску з торцевим видовженням у бік ведучого диска на величину його товщини. В процесі обертання контрзразка відбувається циклічне навантаження зубків необхідної величини. В початковий момент контакту при зануренні зубків в пази контрзразка, поверхні яких утворені підпружиненими ведучим та веденим дисками пружними елементами, зубки сприймають мінімальне навантаження. В міру взаємного

провертання утримувача зразків та контрзразка значення навантаження на кожен окремий зубок циклічно зростає до максимального. При цьому зубки сприймають згинальні напруження: максимальні напруження розтягу на набігаючій грані зубка, максимальні напруження стиску на протилежній грані зубка в напрямку обертання. В момент максимального заглиблення зубки повертають ведений диск контрзразка відносно ведучого на певну величину за рахунок роботи пружних елементів, розміри яких зменшуються та сприймають максимальні напруження стиску в напрямку дії навантаження та в напрямку обертання від зусиль, що створюють пружні елементи. При подальшому повертанні зубки циклічно розвантажуються та виходять із зони контакту. Таким чином відбувається абразивне зношування зубків в умовах, які моделюють вибійну рейку при бурінні.

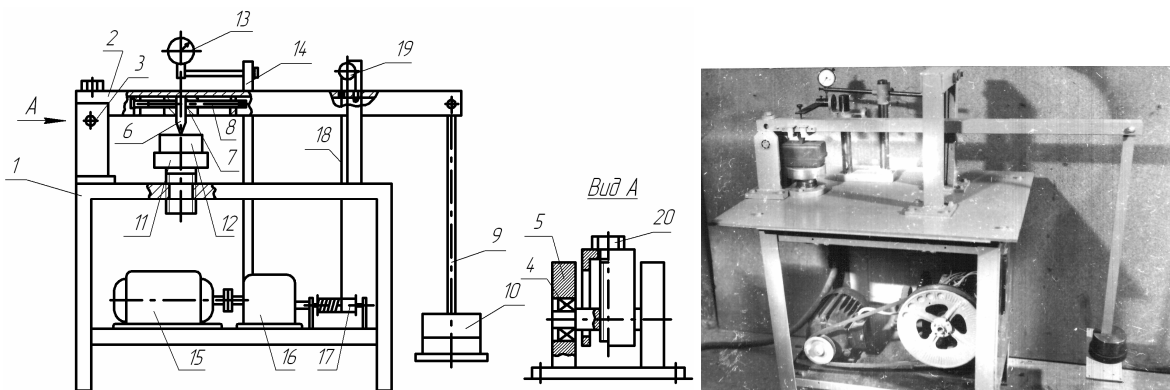
Конструктивні параметри дослідних зразків зубків, які випробовувались, вибирали з урахуванням конструктивного виконання та розмірів найбільш розповсюджених зубків шарошкових бурових доліт типів М та С. Матеріал зразків – долотна сталь 15ХНЗМА. Армування однієї з твірних зубків виконувалось за допомогою струмів високої частоти з використанням установки ВЧИ–63/0,44. Анодна напруга при цьому складала 10,5–11 кВ, напруга лампи розжарювання 11–13 В, сила струму на аноді 5–6 А і на сітці відповідно 1,5–1,7 А. На поверхню, яка нагрівалася до 800–900°C, наносилася суміш реліту [6] типу «3» з добавками бури ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) і під індуктором витримувалась до занурення зерен реліту у ванні розплаву.

При цьому наплавлення виконувалось за різними схемами розміщення твердого сплаву як за висотою, так і за діагоналлю однієї з твірних поверхонь дослідних зразків зубків.

Ширина мінімальної армованої поверхні дорівнює 0,14–0,17 висоти зубка, що зумовлено технологічними можливостями при наплавленні струмами високої частоти, що здебільшого застосовується в даний час при армуванні зубчастого оснащення шарошок твердим сплавом реліт. На такій відстані від вершини зубка товщина армованої зони і зона основного металу однакові, що пояснює перехід зношування з загостренням до зношування з притупленням.

На кожному наступному зубку площа армування збільшувалась до 0,7 висоти зубка від вершини згідно з вимогами серійної технології (рис.4,а). У другому випадку висота армування від вершини збільшувалась із одного боку бічної сторони зубка і наплавлена площадка набувала діагональної форми, (рис.4,б). Після армування зразки зубків піддавались хіміко-термічній обробці, в яку входили цементация з гартуванням, високий відпуск, повторне гартування з низьким відпуском.

Через певні проміжки часу випробувань зубків на вищеписаному стенді для визначення зміни їхньої форми з точки зору збереження ними початкових породоруйнівних властивостей використовувався інший стенд, схема та загальний вигляд якого наведені на рис.2.



a) б)  
a) b)

**Рисунок 2.** Стенд для визначення величини заглиблення зразків елементів оснащення при статичному втискуванні в матеріал, який моделює м'яку породу: а) схема стенда; б) загальний вигляд стенда

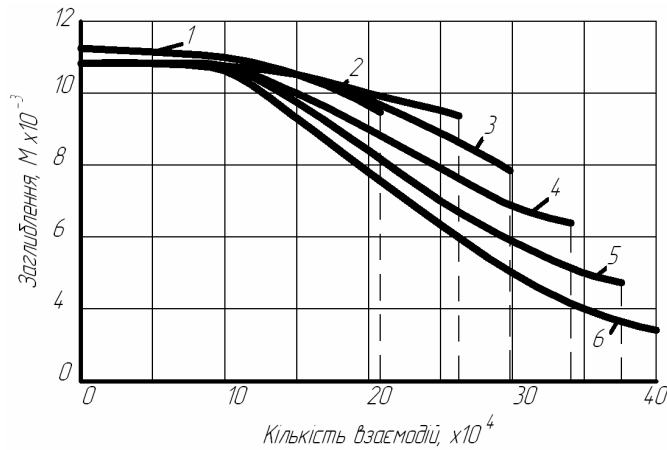
**Figure 2.** Stand for calculating the penetration of samples of the tooling elements under static indentation into the material which models soft rock: a) plan of the stand; b) general view of the stand

Пристрій складається з основи 1, на верхній частині якої знаходиться важіль, закріплений на опорах 5 з віссю 3 і підшипниками 4. На важелі знаходиться вузол кріплення зразків зубків 6, який складається з двох затискних губок 7, що мають можливість переміщуватися по напрямних під дією нерухомого в осьовому напрямку гвинта 8 з лівою і правою різью для забезпечення постійної відстані розміщення зразків від осі важеля, на іншому кінці якого з віддаленням 1:10 знаходяться тяги 9 зі змінними тягарцями 10. На столі 11, який регулюється по висоті за допомогою трапецієподібної різі, встановлюється зразок породи 12 (чи її модель), в яку заглиблюється дослідний зубок. Для вимірювання величини заглиблення зубка використовується індикатор годинникового типу 13, закріплений на стійці 14. Плавне навантаження зубка і підймання після вимірювання здійснюється розміщеним у нижній частині основи привідним електродвигуном 15, редуктором 16 і барабаном 17. На останній намотується сталевий канат 18, інший кінець якого проходить через обертову опору 19 і прикріплений до важеля. Для забезпечення розміщення вершини зубка на рівні осі важеля, останній має можливість вертикального переміщення за допомогою спеціально фрезерованих пазів і фіксується в горизонтальному положенні болтом 20. На стіл 11 встановлюється зразок пластичного чи крихкого матеріалу (парафін, гіпс, зацементований розчин, глина) в обоймі і підводиться до зубка з незначним натягом. При увімкненні електродвигуна встановлені тягарці через плече важеля плавно опускають дослідний зубок та фіксується величина його заглиблення.

При проведенні описаних досліджень обойма заповнювалась модельним матеріалом на основі парафіну, який використовується для виготовлення моделей шарошок бурових доліт за ливарним способом отримання їхніх заготовок, є аналогом глинистих порід і дає можливість багаторазового його використання після переплавлення зруйнованого.

Для об'єктивної характеристики руйнівної здатності зубків ми враховували як їхню лінійну стійкість, так і форму, яку вони набувають у процесі зношування. Критерієм її оцінювання є величина заглиблення в незруйнований модельний матеріал.

На рисунку 3 наведено графіки залежностей заглиблення зубків у модельний матеріал від кількості взаємодій з абразивом при їх випробуваннях на абразивну стійкість, де 1 – неармовані зуби; 2 – армовані на 1/6 висоти; 3, 4, 5 – армовані відповідно на 2/6, 3/6, 4/6 висоти зубків; 6 – армовані за всією поверхнею згідно з вимогами серійної технології.



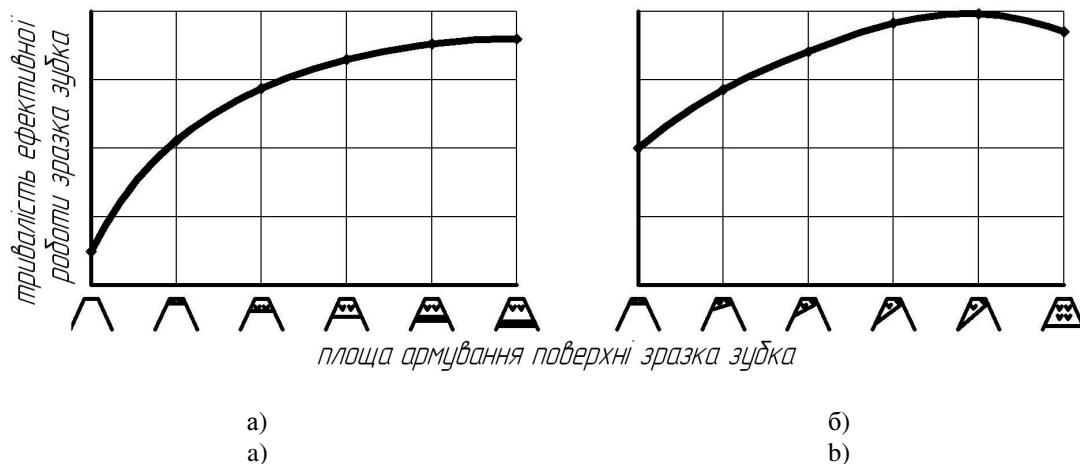
**Рисунок 3.** Графіки залежностей заглиблення зразків зубків із різними схемами армування в модельний матеріал від кількості взаємодій з абразивом

**Figure 3.** Dependency graphs of the indentation of samples of the bits and different schemes of reinforcement into the modelling material and the number of interactions with the abrasive

З даних графіків бачимо, що зі збільшенням площі армування стійкість зубків збільшується, водночас величина їхнього заглиблення в модельний матеріал при однаковому осьовому навантаженні зі збільшенням лінійного зношування зменшується.

Як показник руйнівної здатності зубків, який враховував би як лінійну стійкість зубка так і форму яку він набуває в процесі зношування, ми вибрали площу, обмежену віссю абсцис за довжиною стійкості зубка до досягнення ним половини початкової висоти і графіком залежності величини заглиблення його в модельний матеріал від кількості взаємодій з абразивом. Чисельне значення результатів розрахунків цієї площі ми назвали умовним ресурсом роботи зубка.

На рис.4 наведено графіки залежностей умовного ресурсу роботи зубка від розміщення твердого сплаву за висотою зубка від вершини.



**Рисунок 4.** Графіки залежностей умовного ресурсу роботи зубків за період їх зношування до  $\frac{1}{2}$  початкової висоти від розміщення твердого сплаву на твірній поверхні: а) армовані за серійною технологією; б) армовані по діагоналі

**Figure 4.** Dependency graphs of the conditional resource of work of the bits for the period of their wear to the  $\frac{1}{2}$  of the initial height of distribution of the cemented carbide on the forming surface: a) reinforced under serial technology; b) armed diagonally

При збільшенні армованої поверхні від вершини умовний ресурс роботи зубка дещо збільшується. Водночас кількість твердого сплаву, необхідного для наплавлення поверхонь за описаними схемами, збільшується кратно. Подібні результати отримано при збільшенні площі армування, обмеженої діагоналлю.

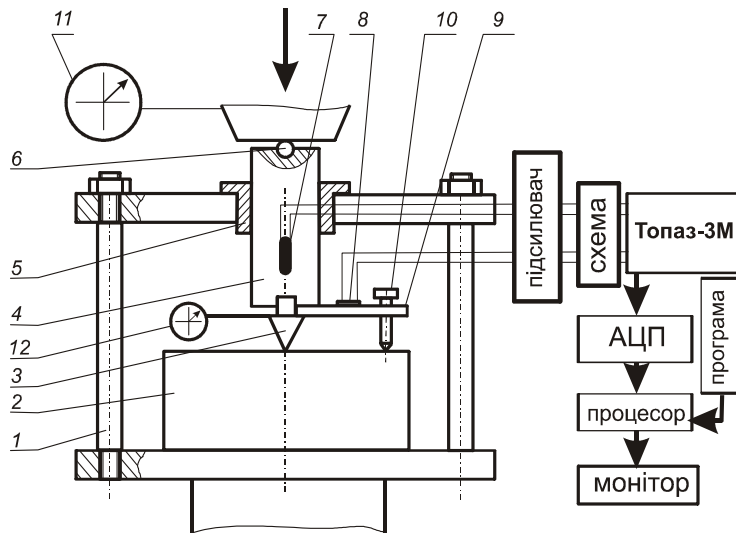
Встановлено, що армувати зубки бурових доліт з метою підвищення їхньої зносостійкості при максимальній руйнівній ефективності в початковий період доцільно до 1/6 висоти зубка від вершини. Це пояснюється тим, що на цій частині зубка товщина армованої зони більша основного металу, що забезпечує рівномірну стійкість зубка до даної величини зношування. При подальшому збільшенні зношування товщина основного металу збільшується й переважає зношування саме його. Тобто оголення менш стійкої до абразивного зношування серцевини зубка призводить до інтенсивнішого зношування цієї частини зубка. Нерівномірне зношування зубка по довжині при подальшій його роботі в абразивному середовищі забезпечує деякою мірою зберігання глибини занурення в модельний склад без збільшення навантаження за рахунок зберігання площі контакту зубка з умовним вибоєм. Тобто має місце зношування зубка з загостренням.

Результати підтверджують можливість збереження руйнівальних характеристик зубків, впливаючи на характер зношування останніх раціонально розміщеним твердим сплавом на їх поверхнях при армуванні. Оскільки попередні дослідження, описані вище, вимагали великої кількості втискувань дослідних зубків, тому за породо використовувався модельний матеріал, що було достатнім для визначення оптимальної схеми армування.

Наступним етапом досліджень було підтвердження отриманих результатів на реальних зразках породи. При цьому вивчали енергетику руйнування мармуру (Закарпатське родовище) статичним втискуванням у нього зубків з діагональною схемою армування по ходу їхнього абразивного зношування в порівнянні з неармованими та армованими на всій поверхні. Стенд для статичного втискування дослідних зразків зубків у блоки породи змонтований на базі універсальної машини УММ-5 (рис.5).

Стенд складається з каркаса 1, в якому встановлюються блоки породи 2, в підготовлену поверхню яких втискується дослідний зубок 3, закріплений у штоці 4. Вертикальне положення штока, а також можливість його вертикального переміщення забезпечується відповідною втулкою 5, закріпленою у верхній плиті каркаса. Для забезпечення рівномірних навантажень, що здійснюється прикладанням статичного навантаження на вісь штока через кульку 6. Зміна навантаження на штоці до моменту сколювання породи включно фіксується за допомогою тензорезистора 8, який прикріплений до важеля 9. Гвинтом 10 важіль виставляється в початкове положення. Значення навантаження, при якому відбувається руйнування, додатково фіксується на шкалі 11, а максимальне переміщення зубка – додатково індикатором годинникового типу 12. Два тензорезистори 2ПКБ–200 з опором 200 Ом і робочою базою 20 мм наклеєні до вказаної поверхні є робочими, а два наклеєні до металічної пластини, яка не деформується – компенсаційними. На одну діагональ мосту подається живлення  $\pm 9$  В, з другої генерується напруга, викликана деформацією з давачів і подається на монітор комп'ютера.

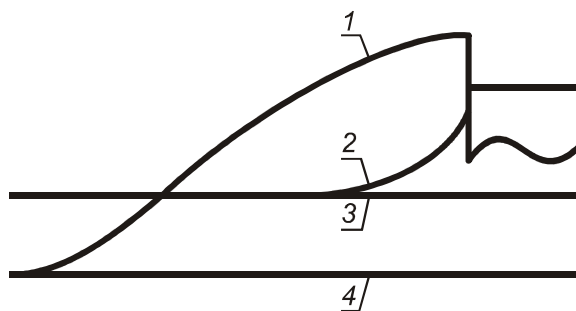




**Рисунок 5.** Схема станда для статичного втискування дослідних зразків зубків у зразки гірських порід

**Figure 5.** Plan of the stand for static indentation of test samples of the bits into samples of the rocks

На рис.6 зображений загальний вигляд запису навантаження і переміщення зубка в мрамур. Роботу руйнування при кожному втискуванні, а також питому об'ємну роботу руйнування визначали згідно з загальноприйнятою методикою [1].



**Рисунок 6.** Вигляд запису на моніторі навантаження та переміщення при втискуванні зразка зубка в мрамур: 1 – зміна навантаження; 2 – переміщення; 3 – лінія нульового переміщення; 4 – лінія нульового навантаження

**Figure 6.** Monitor view of recording the load and displacement during the indentation of the sample of a bit into marble: 1 – change of load; 2 – displacement; 3 – zero-displacement line; 4 – zero-load line

Оскільки гірські породи є тілами гетерогенними, то результати досліджень втискувань у зразки однієї породи мають велике розсіювання. При побудові залежностей заглиблення зубків у гірську породу від кількості взаємодій з абразивом, а також при опрацюванні діаграм «навантаження-переміщення» при кожному втискуванні одному і тому ж значенню змінної  $x$  відповідають різні значення  $y$ .

Оскільки розподіл випадкових величин підлягає нормальному закону, залежність його математичного очікування  $m_y$  від  $x$  є регресією, теоретичне рівняння якої

$$m_y = F(\vec{\theta}, x). \quad (1)$$

Для визначення виду рівняння регресії залежностей досліджень діапазон кількості взаємодій зубка з моделлю породи ділиться на рівні інтервали  $\Delta x_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ . Всі точки, які попадають у даний інтервал, відносяться до його середини  $x_j$  і для нього вираховується середнє значення

$$\bar{y}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} y_{ji}}{n_j}, \quad (2)$$

де  $n_j$  – кількість в інтервалі  $\Delta x_j$ ;

$y_{j_1}, y_{j_2}, \dots, y_{j_n}$  – значення ординат, які відповідають  $\Delta x_j$ .

При цьому об'єм вибірки  $N$  визначаємо за формулою

$$N = \sum_{i=1}^n n_j. \quad (3)$$

Шляхом послідовного з'єднання точок отримуємо лінію регресії  $\overline{x_j}$ , по  $\overline{y_j}$  – лінію регресії  $y$  по  $x$ . За видом вибіркової функції підбирається конкретний вид рівняння, що зводиться до знаходження рівняння приблизної регресії по вибірці об'ємом  $n$  та оцінці допустимої при цьому похибки

$$\eta = f(\theta, x). \quad (4)$$

Враховуючи складний характер деяких залежностей на всьому інтервалі проведення досліджень та неможливості підбору одного виду функції, яка описує процес, використовували метод часткової апроксимації, що дозволяє максимально зблизити залежності, підібрані експериментально та аналітично.

Визначення площі, обмеженої віссю абсцис та графіком отриманих залежностей, зводиться до обчислення інтегралів за формулою трапецій

$$I = \sum_{i=1}^N \frac{y_{i-1} + y_i}{2} \Delta x_i. \quad (5)$$

Кожен інтервал інтегрування  $a - b$  ділиться на  $n$  рівних частин, довжина кожного з них

$$\Delta x_i = \frac{b - a}{n}. \quad (6)$$

Тоді значення інтеграла на цьому відрізку дорівнює

$$I_T = \frac{b - a}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_{i-1} + y_i}{2}. \quad (7)$$

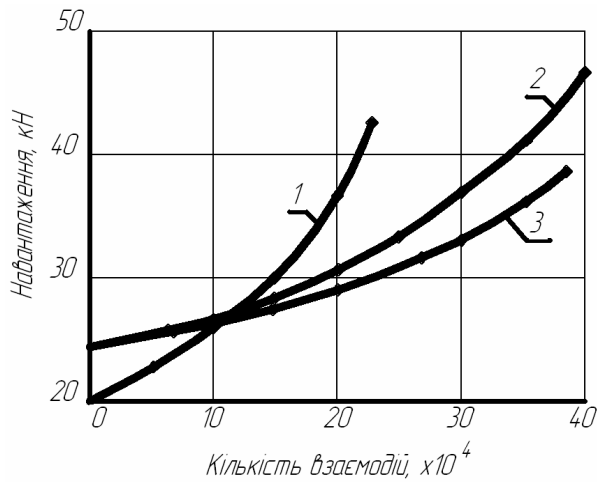
Враховуючи, що під знаком суми величини  $y_i$  зустрічаються двічі (крім  $y_i$  та  $y_i$ ), то останнє рівняння матиме вигляд

$$I_T = \frac{b - a}{n} \left( \frac{y_0 + y_n}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} y_i \right). \quad (8)$$

На початку алгоритму обчислення певного інтеграла за даною формулою вводиться кількість відрізків інтервалу інтегрування. Далі вираховується крок інтегрування  $h$  і присвоюється початкове значення суми  $I_T$  і виведення на друк кінцевого значення інтеграла  $I_T$ .

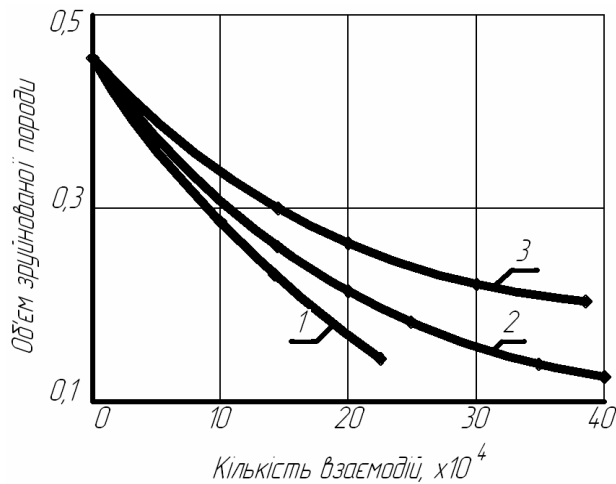
За результатами записів залежностей «навантаження-переміщення» визначали роботу руйнування. Також визначали параметри утворених ямок.

На рис.7, 8 та 9 графічними залежностями представлено результати досліджень енергетики руйнування гірської породи мрамру окремими зразками зубків по ходу їхнього абразивного зношування (кількості взаємодій з абразивом) до ½ початкової висоти.



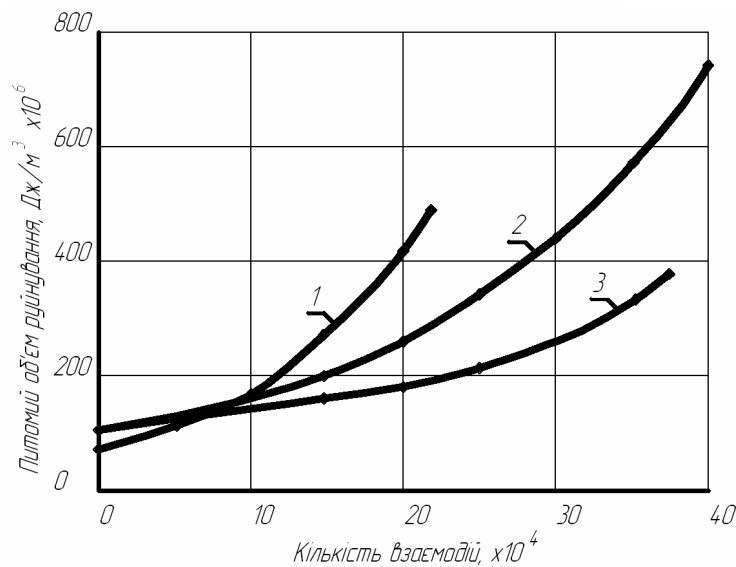
**Рисунок 7.** Графіки залежностей навантаження граничного стану при статичному втискуванні в мрамур зразків зубків від кількості взаємодій їх з абразивом: 1 – неармовані; 2 – армовані за серійною технологією; 3 – армовані по діагоналі

**Figure 7.** Dependency graphs of the limit state load under static indentation of the samples of bits into marble and the number of their interactions with the abrasive: 1 – not reinforced; 2 – reinforced under serial technology; 3 – armed diagonally



**Рисунок 8.** Графіки залежностей об'єму зруйнованої породи при статичному втискуванні зразків зубків у мрамур від кількості взаємодій їх з абразивом: 1 – неармовані; 2 – армовані за серійною технологією; 3 – армовані по діагоналі

**Figure 8.** Dependency graphs of the volume of broken rock under static indentation of samples of the bit into marble and the number of their interactions with the abrasive: 1 – not reinforced; 2 – reinforced under serial technology; 3 – armed diagonally



**Рисунок 9.** Графіки залежностей питомої роботи руйнування породи при статичному втискуванні в мрамур зразків зубків від кількості взаємодій їх з абразивом: 1 – неармовані; 2 – армовані за серійною технологією; 3 – армовані по діагоналі

**Figure 9.** Dependency graphs of the specific work of rock failure under static indentation of samples of the bit into marble and the number of their interactions with the abrasive: 1 – not reinforced; 2 – reinforced under serial technology; 3 – armed diagonally

У початковий період величина навантаження, при якому відбувається руйнування породи неармованим зубком в порівнянні з армованими, дещо менша, оскільки площа контакту в них менша за товщину наплавленого шару релітом.

Характер зношування армованих зубків проходить однаково до деякого часу, протягом якого зношується наплавлений шар (до 1/6 висоти зубка). Це підтверджується однаковою залежністю навантаження граничного стану від тривалості абразивного зношування (рис.7). Однак у подальшому темп збільшення притуплення зубків, армованих згідно з діагональною схемою, менший ніж у зубків, армованих згідно з традиційною схемою, що ілюструється зміною характеру збільшення навантаження граничного стану. Величина навантаження граничного стану зберігається ближчою до початкової при втискуванні зубків, оснащених згідно з діагональною схемою армування.

Збільшення притуплення зубків, оснащених згідно з традиційною схемою армування, в процесі абразивного зношування призводить до зменшення глибини утворених ямок у породі та до збільшення площі зруйнованої поверхні блока породи. Глибина утворених ямок у блоці породи та площа зруйнованої поверхні залежить від площі контакту при втискуванні зубків (рис.8).

Об'єктивніше характеризує енергоємність руйнування гірської породи при втискуванні дослідних зубків питома об'ємна робота руйнування (рис.9). Швидкий темп збільшення питомої об'ємної роботи руйнування спостерігається при статичному втискуванні протягом зношування зубків, оснащених згідно з традиційною схемою армування. Аналогічні дослідження проводили при повторному втискуванні в утворені за першим разом ямки. Як при початковому втискуванні в підготовлену поверхню блока породи, так і при повторному бачимо, що характер процесу зношування зубків з діагональною схемою армування сприяє їхньому ефективнішому відпрацюванню при руйнуванні породи з меншими енергетичними витратами.

Аналогічні результати досліджень отримані при втискуванні в дрібнозернистий пісковик. На відміну від мармуру, дрібнозернистий пісковик має неоднорідну структуру. При цьому енергоємність руйнування дрібнозернистого пісковика інша, інтенсивність зміни досліджуваних параметрів відрізняється, але загальний характер залежностей аналогічний розглянутим вище на зразках породи з мармуру.

**Висновки.** Розроблене лабораторне обладнання та запропонована методика дають можливість проводити дослідження процесу зношування зразків породоруйнівних елементів бурових шарошkových доліт та досліджувати енергетичні характеристики в процесі їх зношування в умовах, наближених до реальних при бурінні м'яких та середньої твердості порід. Розміщенням твердого сплаву на армованих поверхнях вінцевих зубків шарошkových доліт можна впливати на характер їх зношування, при цьому забезпечуючи самозаточування останніх. Забезпечуючи самозаточування при зношуванні вінцевих зубків, оснащених згідно з раціональною схемою армування, можна зменшити енергоємність процесу руйнування гірських порід типів М і С при постійному осьовому навантаженні на долото протягом усього рейсу.

**Conclusions.** The laboratory stands have been developed and manufactured, and the methodology which provides the possibility of for carrying out research of the process of wear for the samples of rock cutting elements of the rock drilling bits and energy characteristics during the process of wear under the conditions close to real when drilling soft and medium hard rock has been proposed.

It was found that distribution of cemented carbide on the reinforced surfaces of the crown bits of the rock drilling bits can affect the nature of their wear thus providing self-sharpening of the latter.

It was found that in the case of wear of the crown bits tooled according to the rational scheme of reinforcement, energy consumption of the process of rock failure of M and C types at constant axial load on the drilling bit throughout the run can be reduced.

**Список використаної літератури**

- 1 Спивак, А.И. Разрушение горных пород при бурении скважин [Текст] / А.И. Спивак, А.Н. Попов. – М.: Недра, 1986. – 208 с.
- 2 Бугай, Ю.Н. Сохранение удельного давления на забое в процессе бурения [Текст] / Ю.Н. Бугай // Нефтяное хозяйство. – 1982. – №7. – с. 13.
- 3 Беликов, В.Г. О характере износа вооружения долот 41Д394С [Текст] / В.Г. Беликов, В.И. Самсоненко // Машины и НО: республиканский научн.-техн. сборник. – 1977. – №7. – С. 22.
- 4 Трофименко, Ю.Л. Прогнозирование и новая методика классификации форм изнашивания вооружения шарошечных долот в процессе проводки глубоких скважин [Текст] / Ю.Л. Трофименко // Труды Сев. Кавказ. Н. – И. и проект. Сен-т нефт. пром-сти. – 1981. – №35. – С. 19–27.
- 5 Попов, А.Н. Влияние схемы наплавки на форму износа и эффективности работы опытного вооружения шарошек [Текст] / А.Н. Попов, Ю.И. Самоходов, А.С. Юдин // Технология бурения нефтяных и газовых скважин. – 1982. – С. 41–45.
- 6 Технічні умови ТУ У 24.6-33876998-001:2006 Карбіди литі на основі вольфраму марок ЛКВ –«З», ЛКВ –«ТЗУ», ЛКВ –«С», ЛКВ –«ТСУ», ЛКВ –«СЛ».
- 7 Виноградов, В.Н. Абразивное изнашивание бурильного инструмента [Текст] / В.Н.Виноградов, Г.М.Сорокин, В.А.Доценко. – М.: Недра, 1980. – С. 207.
- 8 Воротников, В.Я. Исследование разрушающей способности слоя, армированного рэлитом [Текст] / В.Я. Воротников, К.П. Ефремова, С.В. Иванов // Машины и НО: республиканский научн.-техн.сборник. – 1975. – №7. – С. 23.
- 9 Пат.101775 С2 Україна, МПК G01N3/56 (2006.01). Стенд для випробування на абразивне зношування елементів озброєння бурового інструменту [Текст] / Семенген О.М., Одосій З.М., Войтенко П.І., Семенген М.М.; заявник та патентовласник Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу. – № а201204601; заявл. 12.04.12; опубл. 25.04.13, Бюл. №8.
- 10 Семенген, О.М Аналіз роботи бурових шарошкових доліт та шляхи покращення їх конструкцій [Текст] / О.М. Семенген, З.М. Одосій // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – №3. – С. 36–41.

*Отримано 20.11.2013*