УДК 622.24.051 https://doi.org/10.33271/crpnmu/69.218

© А.О. Ігнатов[1], Б.Т. Ратов[2], Я.С. Ткаченко[1], С.О. Шипунов[1], С.І. Ветошка[1]
[1]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна
[2] Caspian University, Алмати, Казахстан

РОЗРОБКА МЕТОДИЧНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ОСНОВ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НОВИХ ТИПІВ ДОЛІТ

© A. Ihnatov[1], B. Ratov[2], Ya. Tkachenko[1], S. Shypunov[1], S. Vetoshka[1]
[1]Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
[2] Caspian University, Almaty, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF METHODOLOGICAL AND CONSTRUCTIVE FOUNDATIONS FOR DRILLING WELLS USING NEW TYPES OF BITS

Мета. Підвищення техніко-економічних показників і ступеню досконалості процесу конструктивного вибору, обґрунтування та інженерного розрахунку ефективних схем виконання окремих вузлів бурових доліт, що забезпечують сталість процесу поглиблення вибою свердловини з високою мірою продуктивності та ресурсозбереження.

Методика дослідження. Прикладні розрахункові та лабораторні дослідження особливостей конструктивного вибору схем виконання бурових доліт нових конструкцій виконано із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу і експериментальних досліджень, зокрема шляхом використання загальних принципів математичного та фізичного моделювання, методик обробки результатів досліджень у середовищі EXCEL, MATHCAD, контрольно-вимірювальних приладів і матеріалів. Протікання свердловинних бурових процесів моделювалось на експериментальних свердловинах навчального бурового полігону Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» із застосуванням бурової установки УКБ-4П та відповідного допоміжного інструменту й обладнання.

Результати дослідження. Проведено критичний огляд досліджень і розробок в області конструювання бурових доліт, особлива увага приділена схемам виконання та роботи систем озброєння і аналізу властивостей матеріалів, які застосовуються для виготовлення окремих деталей вузлів бурових доліт; висвітлені основні переваги і вади існуючих схем виконання доліт; визначено чинники працездатності і довговічності елементів доліт; встановлено причини зносу доліт та сформульовано положення завдання вдосконалення техніки та технології виконання вузлів бурових доліт.

Наукова новизна. Конструктивний підхід до системи виконання бурових доліт за прогресивною технологією та створення працездатного руйнівного вузлу означеного інструменту для спорудження свердловин може базуватися на принципі ланцюгового виконання робочого руйнівного органу.

Практичне значення. Створено принципово нові конструктивні схеми виконання робочого руйнівного вузлу бурового долота, використання яких приведе до істотного підвищення продуктивності розвідувально-експлуатаційних робіт, скорочення часу на допоміжні операції, загального зростання ефективності і економічності процесу спорудження свердловин.

Ключові слова: *буріння, свердловина, ланцюгове долото, підшипник ковзання, опорний вузол, гірська порода, робоче середовище, конструкційні матеріали.*

Вступ. Бурові шарошкові долота – основний породоруйнівний інструмент для буріння свердловин в нафтовій і газовій промисловості та геологорозвідці [1]. Застосовують їх для буріння вибухових свердловин на кар'єрах кольорової і чорної металургії, при видобуванні золота і алмазів, при спорудженні гідрогеологічних свердловин. Шарошкове долото, як по його конструкції, так і за технологією виготовлення, є , напевне, найскладнішим з усього інструменту для буріння суцільним вибоєм. Практика бурових робіт свідчить, що одним з найважливіших елементів шарошкових доліт, від працездатності якого багато в чому залежить довговічність і ефективність роботи інструменту в цілому, є підшипниковий, того або іншого конструктивного виконання, (опорний) вузол. [2]. На сьогодні існує величезна кількість конструкцій основних руйнівних і опорних вузлів, розроблених для різних типів і розмірів бурового інструменту. Проте, завдання створення нових конструкцій, здатних надійно функціонувати в процесі роботи бурових доліт не лише в початковий період буріння, але і протягом усього часу роботи інструменту, є насущним.

Актуальність досліджень. Той інструмент, що використовують при бурінні свердловин, називають буровим. За призначенням він поділяється на технологічний, допоміжний, аварійний і спеціальний [1].

У переважному числі випадків відмови доліт, експлуатованих в тяжких умовах, відбуваються з технологічних причин, пов'язаних з впливом техніки і технології виготовлення, а також якості відробітку опор бурових шарошкових доліт [3].

Сучасні конструкції систем опор доліт не забезпечують стабільне значення ресурсу виробу, що є проблемою як машинобудування, так і буріння. Вирішення проблеми стабілізації ресурсу таких виробів нерозривно пов'язане з вдосконаленням і системною розробкою принципово нових технічних підходів до конструювання і виготовлення опор.

Процес розробки нових конструкцій бурових доліт повинен враховувати індивідуальні властивості взаємодії поверхонь деталей рухливих з'єднань і гарантувати підвищення розрахункового ресурсу виробу із заданим рівнем надійності.

При розробці принципових схем компоновок підшипникових систем опор шарошкових доліт вихідним пунктом є врахування досвіду експлуатації породоруйнівного інструменту. Існуючи системи опор в багатьох випадках не спроможні виконати свої функції із забезпечення надійності та довговічності роботи. Модернізація систем опор повинна бути спрямована на максимальне виключення, насамперед, тих вад підшипникових систем, які визначаються їх конструктивними особливостями. Систему опор шарошкових доліт відрізняє наступна характеристика - односторонність та нерівномірність завантаження бігових доріжок з боку вибою, що призводить до нерівномірності їх зношування с подальшою появою та зростанням люфту при обертанні шарошки навколо цапфи лапи долота.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Нафтогазові компанії, що займаються бурінням, приділяють велику увагу якості пробурених

і переданих в експлуатацію нафтогазових свердловин. При цьому акцент робиться на скорочення термінів їх будівництва для забезпечення швидкого введення в експлуатацію. Тим самим створюються конкурентні умови для виробників бурового інструменту, який є, беззаперечно, найголовнішим чинником, що забезпечує максимальність показників за швидкістю поглиблення вибою свердловини, а це, у свою чергу, примушує постійно удосконалювати вироблюваний інструмент [1].

Як відомо, бурові шарошкові долота працюють в дуже важких умовах – при навантаженнях, що обчислюються десятками тонн, тиску – до двохсот атмосфер, при частоті обертання шарошок долота – до кількох сотень обертів за хвилину. Наявність абразивного середовища призводить до швидкого зношування як породоруйнівних зубців (сталевих армованих чи твердосплавних), так і опор шарошок.

Конструкція шарошкового долота передбачає досягнення високої точності деталей, що входять до конструкції, та їх взаємного просторового розташування. Важкі умови роботи доліт на вибої вимагають використання в їх конструкціях високоякісних і зносостійких матеріалів, а сама технологія їхнього виробництва віднесена до особливо складної [2].

Протягом останніх років за кордоном і у нас в країні безперервно ведеться складна і трудомістка робота з поліпшення конструкцій доліт, їх окремих вузлів, технології виробництва, вдосконалення матеріалів, хіміко-термічної обробки, армування та ін. В останні роки, у міру вдосконалення проектування, створення нових матеріалів і технологій, все більше уваги проектувальники приділяють оптимізації конструкцій і технологічності виготовлення доліт.

Вітчизняні та зарубіжні бурові підприємства вимагають всебічного скорочення термінів модернізації серійних або розробки нових типорозмірів бурових доліт [4]. Це додатково вимагає прискорення і поліпшення наукового підходу до оптимізації проектування і технологічності виготовлення доліт, що сприятиме підвищенню показників буріння і виходу їх на більш високий технічний рівень.

Вузлом долота, найчутливішим до статичних і динамічних навантажень, впливу абразивного середовища та наявності змащення є опора. Опори виходять з ладу в більшості випадків навіть при цілком працездатному оснащенні – фрезерованих і армованих або ж твердосплавних зубках. Руйнування поверхневих шарів деталей опор пов’язане з високим рівнем контактних напружень на їхніх поверхнях, що зумовлено малими радіусами кривизни контактуючих поверхонь і їх формою, та супроводжується сколюванням і викрошуванням дрібних і великих об’ємів. Стійкість опор та самих бурових доліт, як свідчить аналіз літературних та промислових даних, можна суттєво підвищити шляхом покращення конструкції їхніх елементів [2].

Мета статті – підвищення техніко-економічних показників і ступеню досконалості процесу конструктивного вибору, обґрунтування та інженерного розрахунку ефективних схем виконання окремих вузлів бурових доліт, що забезпечують сталість процесу поглиблення вибою свердловини з високою мірою продуктивності та ресурсозбереження.

Обґрунтування вживання і опис вибраної автором методики. Прикладні розрахункові та лабораторні дослідження особливостей конструктивного вибору схем виконання бурових доліт нових конструкцій виконано із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу і експериментальних досліджень, зокрема шляхом використання загальних принципів математичного та фізичного моделювання, методик обробки результатів досліджень у середовищі EXCEL, MATHCAD, контрольно-вимірювальних приладів і матеріалів [5]. Протікання свердловинних бурових процесів моделювалось на експериментальних свердловинах навчального бурового полігону Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» із застосуванням бурової установки УКБ-4П та відповідного допоміжного інструменту й обладнання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як відомо, породоруйнівний інструмент призначений для руйнування гірської породи на вибої при бурінні свердловини. Причому, за принципом руйнування гірського масиву інструмент підрозділяється на такі групи: ріжуче-сколюючої дії – застосовується для розбурювання в'язких, пластичних і малоабразивних порід невеликої твердості; дробляче-сколюючої дії – застосовується для розбурювання неабразивних і абразивних порід середньої твердості, твердих, міцних і дуже міцних; стираюче-ріжучої дії – застосовується для буріння в породах середньої твердості, а також при чергуванні високопластичних малов'язких порід з породами середньої твердості і навіть твердими [6]. За призначенням породоруйнівний інструмент підрозділяється: для буріння суцільним вибоєм (без відбору керна) – бурові долота; для буріння по кільцевому вибою (з відбором керна) – бурильні головки або колонкові долота; для спеціальних робіт в пробуреній свердловині (вирівнювання і розширення стовбура) і в обсадній колоні (розбурювання цементного каменю і т. ін.). За конструктивним виконанням буровий породоруйнівний інструмент ділиться на групи: лопатевий, шарошковий, фрезерний.

Найбільшого поширення серед групи шарошкового бурового інструменту в практиці буріння нафтових і газових свердловин набули тришарошкові долота дробляче-сколюючої дії з твердосплавним або сталевим озброєнням [2]. Залежно від конструкції корпусу шарошкові бурові долота поділяють на секційні та корпусні (причому, більшість тришарошкових доліт виконано саме секційними). У секційний корпус шарошкові долота зварюється з окремих (двох, трьох або чотирьох) секцій або лап – в результаті зварювання яких середня частина долота становить єдиний цілий елемент; на цапфах лап монтуються шарошки (верхні сегментні частини бурового долота при цьому утворюють приєднувальну головку); в корпусних шарошкових долотах – корпус литий, до нього приварюються лапи зі змонтованими на їх цапфах шарошками. Для приєднання бурових доліт до бурильної колони у секційних доліт передбачається зовнішня конусна різьба (ніпель), у корпусних – внутрішня конусова різьба (муфта).

Кожна лапа бурового шарошкового долота в нижній частині завершується цапфою, на якій проточені бігові доріжки під кульки і ролики. На цапфі через

систему підшипників встановлюється шарошка з біговими доріжками. Тіло шарошки оснащене сталевими зубами, розміщеними по вінцях. На торці з боку приєднувальної різьби вибиваються шифр долота та його порядковий номер.

Бурові долота, незалежно від їх приналежності до групи відносно конструктивних ознак і механізму формування вибою, в процесі взаємодії із гірською породою зношуються, що в кінцевому підсумку впливає на показники їх експлуатації і тривалість строків буріння свердловини в цілому. Знос бурового шарошкового долота визначає його працездатність (працездатність бурового долота – стан, при якому долото може виконувати задані функції, зберігаючи значення параметрів у межах, встановлених нормативно-технічною документацією), довговічність (визначається спроможністю долота зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі експлуатації) і надійність (визначається здатністю бурового долота виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають режимам і умовам користування, технічного обслуговування, зберігання і транспортування) [1].

Зазначимо, що надійність бурового долота – комплексний показник, який включає насамперед його безвідмовність (визначає спроможність долота протягом певного часу зберігати працездатність; вона характеризується такими протилежними станами: долото працездатне і долото непрацездатне) і довговічність.

Проведений огляд найбільш значущих і конструктивно виправданих розробок стосовно виконання моделей доліт дозволяє зробити висновок про те, що майже усі новації не вирішили питань, які гальмують подальше вдосконалення конструктивної моделі долота – це створення принципово інших за виконанням та роботою вузлів шарошкового долота.

На наш погляд, подальше вдосконалення конструкцій доліт повинне базуватися на наступних концептуальних положеннях: розширення номенклатури конструкційних матеріалів, що використовуються в окремих вузлах доліт; застосування опорних вузлів, що працюють як самоустановлювальні елементи. Саме через вказану причину кафедрою нафтогазової інженерії та буріння НТУ «Дніпровська політехніка» запропоноване технічне рішення зі створення опори долота за принципом гідростатичного плаваючого вкладиша підшипника ковзання (рис. 1) [7].

Бурове долото (рис. 1) працює наступним чином: при вторгненні долота в м'які гірські породи ланцюги 11, на зовнішній поверхні яких розташовані зубки 12, здійснюють руйнування породи. Ланцюги кінематично пов'язані з дисками 2 та зірочками 4, які насаджено на допоміжну вісь 5 за допомого підшипників кочення 8. Породоруйнівні диски насаджені на вісь за допомогою спеціальної конструкції підшипників ковзання 7, що являють собою два ободи - зовнішній та внутрішній, між ними встановлено вкладиш, який виконано із спеціальної гуми, а його внутрішня порожнина 13 заповнена середовищем, що має можливість стискатись, наприклад за рахунок насичення його інертними газами. Диски 2, шарошки 3 та зірочки 4 мають можливість обертатися.

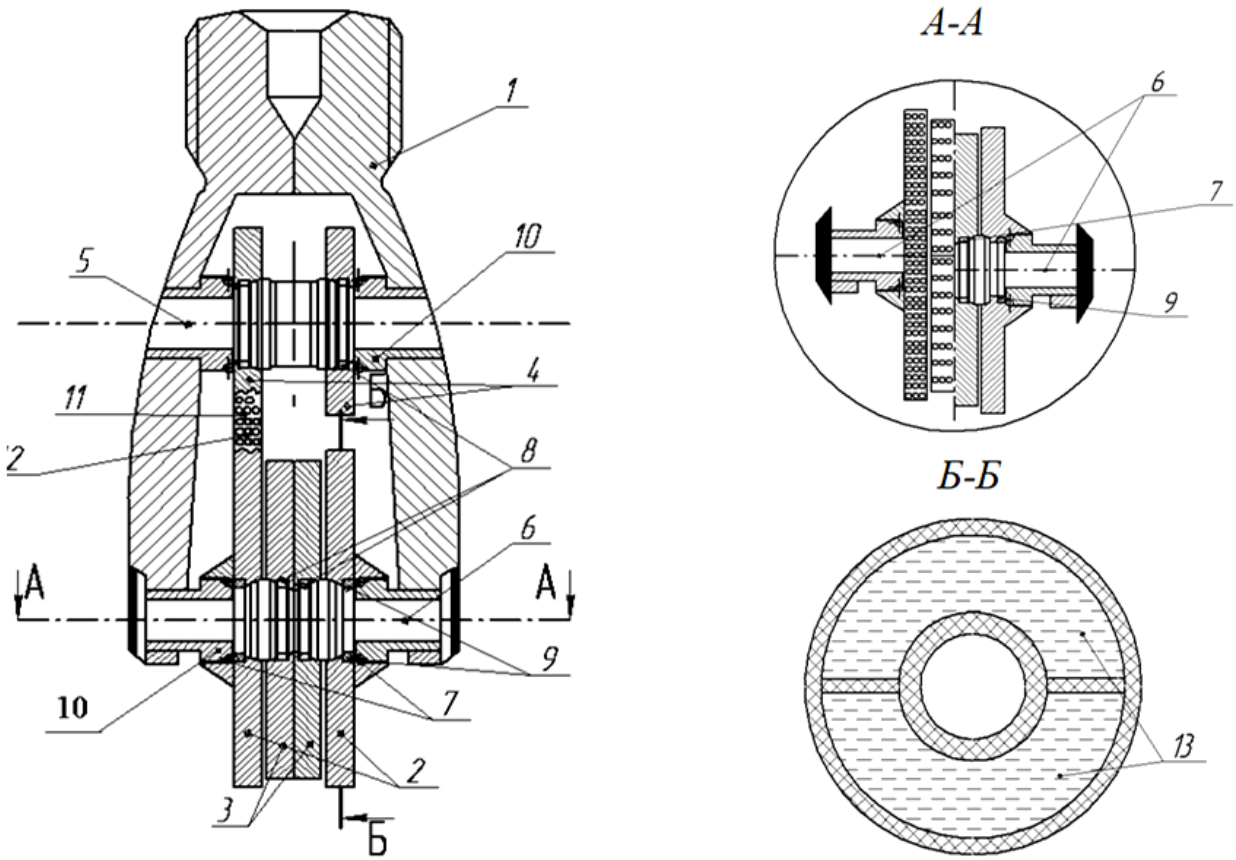

Рис. 1. Схема долота: *1* – лапи, *2* – диски, *3* – шарошки, *4* – зірочки, *5* – допоміжна вісь, *6* – ексцентрична вісь, *7* – підшипники кочення, *8* – підшипники ковзання, *9* – спеціальні вкладиші, *10* – замкові втулки, *11* – породоруйнівні елементи, *12* – зубки, *13* – ізольовані порожнини вкладишів

Завдяки замковій втулці 10, диски 2, шарошки 3 та зірочки 4 не мають горизонтального переміщення по ексцентричній осі 6 та допоміжній осі 5 і обертаються за рахунок наявності сил реакції стінок й вибою свердловини. Наявність вкладиша 9 в системі опори породоруйнівних дисків 2 обумовлена необхідністю його роботи в переважно м'яких породах. При переході в більш тверді породи відбувається осьове переміщення ланцюгів 11 з породоруйнівними дисками 2. Це здійснюється за рахунок часткового розчинення інертних газів в середовищі, коефіцієнт стискання якого корелюється із механічними характеристиками – твердістю або категорією за буримістю порід. Зазначені механічні характеристики можуть бути визначені за ДСТ 12288-66 та методом ЦНДГРІ. При цьому розбурювання твердих прошарків відбувається за рахунок шарошок 3. Реалізований в конструкції долота принцип саморегулювання дозволяє без зміни типу породоруйнівного інструменту проходити як м'які породи, так і тверді прошарки. Досягається рівномірний розподіл роботи руйнування м'яких і твердих порід між ланцюгами 11 і шарошками 3 відповідно.

Контакт кожного зубка 12 із вибоєм та стінками свердловини носить переривчастий характер, що покращує умови очистки вибою свердловини та самого інструменту, а також покращує процес охолодження породоруйнівних зубків 12.

Процес розробки нових конструкцій бурових доліт повинен враховувати індивідуальні властивості взаємодії поверхонь деталей рухливих з'єднань і гарантувати підвищення розрахункового ресурсу виробу із заданим рівнем надійності.

Фахівцями кафедри нафтогазової інженерії та буріння НТУ «Дніпровська політехніка» також запропоновано конструкцію бурового долота [8], в якому інше виконання робочого органу забезпечує зниження витрат потужності на рух долота за рахунок реалізації якнайефективнішого руйнування, що обумовлене перекриттям вибою свердловини в одній площині та збільшенням контактної площі руйнівних елементів із породою, а також нерівномірністю обертання ланцюгів і зубчастих дисків (рис. 2).

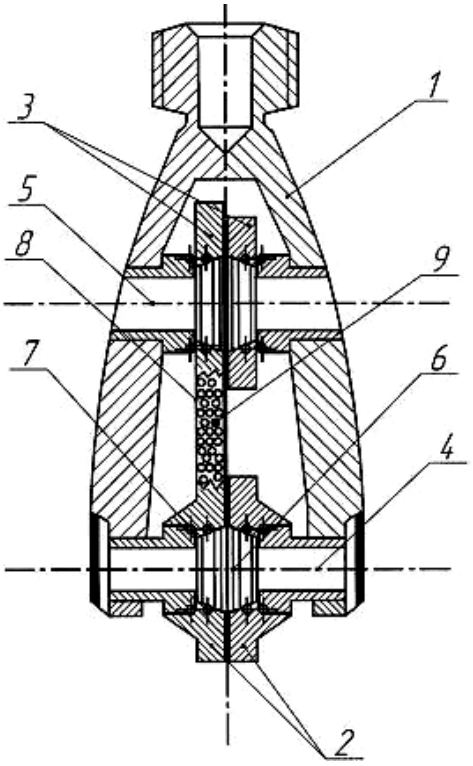

Рис. 2. Дискове ланцюгове бурове долото

Поставлене завдання було вирішено у такий спосіб: бурове долото містить зубчасті диски одного діаметра на осі, що закріплена нерухомо в нижній частині лап, має зірочки різних діаметрів на спільній осі, закріпленій нерухомо відповідно над зубчастими дисками в верхній частині лап, а також зубчасті ланцюги, що з'єднують відповідно зірочки та зубчасті диски, крім створення кінематичного зв'язку, ланцюги та зубчасті диски виконують функцію руйнування гірської породи, до того, зірочки та зубчасті диски посаджені на осі з можливістю обертання. Наявність додаткових породоруйнівних елементів на зубчастих дисках сприяє інтенсифікації механізму руйнування та захищає ланцюги від передчасного зношення.

На рис. 2 наведена загальна схема бурового долота, де 1 – лапи, 2 – зубчасті диски, 3 – зірочки, що змонтовані на осі 4 та допоміжній осі 5. Зубчасті диски 2 та зірочки 3 закріплено нерухомо в лапах 1 за допомогою дворядних підшипників кочення – 6 та замкових втулок – 7. Ланцюги 8 оснащені зубцями 9 і кінематично пов'язані з зубчастими дисками 2 та зірочками 3. Зірочки та зубчасті диски можуть обертатися.

Пристрій працює наступним чином: при вторгненні долота в гірську породу ланцюги 8, на зовнішній поверхні яких розміщені зубці 9 та зубчасті диски 2, руйнують породу. Ланцюги та зубчасті диски, а внаслідок кінематичного зв'язку і зірочки, обертаються під впливом сил реакції вибою свердловини.

Перекриття вибою свердловини в одній площині, збільшення контактної площі руйнівних елементів із породою, відмінність діаметрів зірочок позитивно впливає на вибійні процеси руйнування гірської породи та створює умови для найефективнішого руйнування, а саме сколювання. Цей механізм пов'язаний з виникненням значних знакозмінних напружень, обумовлених наявністю моментів пар сил між двома рухливими ланцюгами. Замкова втулка 7 не дає можливості зірочкам та зубчастим дискам горизонтально переміщуватися по осі та допоміжній осі 4, 5. Крім того, долото може бути використане багаторазово завдяки можливості оперативної заміни його робочих органів - ланцюгів в польових умовах.

Породоруйнівні елементи долота очищуються та охолоджуються внаслідок безпосереднього подання промивальної рідини на ланцюг через промивні канали, які можуть оснащуватись спеціальними насадками, що сприятимуть значному підвищенню енергії струменя промивальної рідини.

В основу конструкції іншої моделі бурового ланцюгового долота [9] поставлено задачу удосконалення інструменту, в якому інше конструктивне виконання робочого органу забезпечує переривчатий контакт породоруйнівних елементів з породою при збільшенні робочої поверхні та більш повне перекриття вибою свердловини і за рахунок цього створюються умови для якнайефективнішого руйнування та підвищення інтенсивності бурових робіт, продовжується термін дії долота на вибої, підвищуються проходка на долото, механічна та рейсова швидкості буріння.

Задача вирішується тим, що бурове долото, яке включає диски на ексцентричній осі, що закріплена нерухомо в нижній частині лап, має дві пари допоміжних дисків різних діаметрів на спільній допоміжній осі, що закріплена нерухомо відповідно над дисками в верхній частині лап, причому перший та четвертий допоміжні диски мають більший, але однаковий зовнішній діаметр, у порівнянні з другим та третім, рівними по зовнішньому діаметру, допоміжними дисками; а також - зубчаті ланцюги, що є руйнівними елементами, і з'єднують відповідно допоміжні верхні та диски у нижній частині лап, при тому, диски та допоміжні диски посаджено на осі з можливістю обертання.

Пристрій працює наступним чином: при вторгненні долота в гірську породу ланцюги, на зовнішній поверхні яких розташовані зубки, здійснюють руйнування породи. Ланцюги кінематично пов'язані з дисками та двома парами допоміжних

дисків, які насаджені на вісь та допоміжну вісь за допомогою двох'ярусних підшипників кочення. Диски та допоміжні диски мають можливість обертатися.

Завдяки замковій втулці диски і допоміжні диски не мають можливості горизонтального переміщення по осі та допоміжній осі і обертаються, за рахунок наявності сил реакції стінок й вибою свердловини. Наявність, наприклад, чотирьох дисків та двох пар допоміжних дисків, обумовлена необхідністю створення значно більшої, у порівнянні зі звичайним дисковим долотом, робочої поверхні. Крім того в процесі роботи, завдяки різності діаметрів пар допоміжних дисків їх швидкість обертання нерівномірна, що позитивно впливає на вибійні процеси руйнування гірської породи та створює умови для реалізації найбільш ефективного процесу руйнування, а саме – сколювання. Для реалізації зазначеного способу руйнування перший та четвертий допоміжні диски мають більший, але однаковий зовнішній діаметр у порівнянні з другим та третім, рівними по зовнішньому діаметру, допоміжними дисками.

При цьому контакт кожного зубця із вибоєм та стінками свердловини носить переривчастий характер, що покращує умови очистки вибою свердловини та самого інструменту, а також покращує процес охолодження породоруйнівних зубців. Конструкція цих доліт дозволяє значно більш повно перекривати площу вибою свердловини. Крім того долото може бути використане багато разів завдяки можливості зміни його робочих органів – ланцюгів. В пропонованому долоті досягається більш рівномірне навантаження на зубки, що сприяє вирівнюванню їх зносу. Очищення та охолодження породоруйнівних елементів долота відбувається за рахунок безпосередньої подачі промивної рідини на ланцюги 9, через промивні канали, які можуть бути оснащені спеціальними насадками, що дозволить значно підвищити енергію струменя промивної рідини.

Руйнування гірських порід на вибої свердловини будь-якого призначення при її проводці породоруйнівним інструментом є основним процесом буріння. У процесі руйнування гірських порід при бурінні свердловин беруть участь невеликі об’єми породи, що знаходиться під породоруйнівним інструментом. На породу діє гірський, гідростатичний і пластовий тиск. Великий вплив на ефективність руйнування гірських порід на вибої свердловини чинять їх фізико-механічні властивості, геометрія породоруйнівного інструменту і параметри режиму буріння. У зв'язку з цим виникає необхідність в постановці комплексних досліджень процесу і засобів руйнування гірських порід на вибої свердловини, які дозволили б встановити сутність явищ, що протікають в процесі буріння свердловин як в самій породі, так і в породоруйнівному інструменті. Знання цих явищ дозволить при заданих умовах буріння обґрунтувати найбільш раціональну форму і геометрію породоруйнівного інструменту, вихідні дані для проектування найвигідніших параметрів режиму буріння, реалізація яких дозволить отримати найбільші механічну і рейсову швидкості буріння і стійкість породоруйнівного інструменту.

Комплексні дослідження процесів і технічних засобів руйнування гірських порід на вибої свердловин, очевидно, повинні включати наступні основні етапи:

дослідження та визначення основних показників процесу руйнування гірських порід на вибої свердловини в залежності від геометрії породоруйнівного інструменту і режимів буріння; обґрунтування умов ефективного руйнування гірських порід на вибої свердловини з урахуванням їх властивостей, складного напруженого стану, параметрів режиму буріння і геометрії породоруйнівного інструменту; дослідження та обґрунтування найвигідніших параметрів режиму буріння; обґрунтування технічних характеристик породоруйнівного інструменту, що забезпечує найвигідніші параметри режиму буріння; розробку рекомендацій щодо вибору раціональних параметрів режиму буріння і конструкцій породоруйнівного інструменту; дослідно-промислові випробування експериментальних зразків породоруйнівного інструменту; отримання техніко-економічних показників та обґрунтування раціональної галузі застосування породоруйнівного інструменту.

Природно, для здійснення цих етапів дослідження необхідні тривалі теоретичні та експериментальні дослідження, випробування результатів цих досліджень у виробничих умовах [5, 10].

Комплексні дослідження процесів і технічних засобів буріння свердловин можуть бути виконані за умови застосування теоретичних і сучасних експериментальних методів дослідження, а також методів математичної статистики.

Теоретичний метод дослідження можна застосувати для вивчення напруженого стану породи і породоруйнівного інструменту, визначення умов руйнування ріжучих елементів породоруйнівного інструменту, обґрунтування раціональної їх геометрії і кутів загострення, а також параметрів режиму буріння.

Однак, кількісно охарактеризувати основні фактори, що чинять істотний вплив на ефективність руйнування гірських порід на вибої свердловини і на характер явищ, що відбуваються в ріжучих елементах породоруйнівного інструменту в процесі буріння в цілому теоретично неможливо. Тому для обґрунтування раціональних параметрів процесу і засобів руйнування гірських порід на вибої свердловини необхідні експериментальні стендові і натурні дослідження основних закономірностей, властивих бурінню.

При теоретичному аналізі характеру розподілу напруг в елементах озброєння породоруйнівного інструменту виходили з припущення, що нормальні сили і сили тертя розподіляються по ріжучій кромці рівномірно, тертям по первісному майданчику притуплення (близько 0,1 мм) на торцевій грані озброєння і впливом радіуса при вершині елементів озброєння долота можна знехтувати. Виходячи з цього припущення, вершина кута загострення елементів озброєння долота прирівнюється клину і напруги розраховуються за формулами теорії пружності. При цьому аналізувалися радіальні σ_p, тангенціальні σ_θ, дотичні $\tau_{ч\theta}$ і критичні $\sigma_{кр}$ напруги [2].

Навантаження, що діють на ріжучі кромки породоруйнівного інструменту (табл. 1) визначені за даними осцилографування процесу буріння гірських порід твердістю за штампом 300 - 400 кг/мм^2.

В процесі буріння гірських порід глибина занурення за оборот елемента озброєння породоруйнівного інструменту в породу h_c змінюється від 0,28 до

1,144 мм, але так як висота контакту елемента озброєння з породою $h_к$ по передній грані в процесі буріння не постійна і може бути значно менше товщини стружки (h_c), нормальне навантаження на одиницю площі передньої грані різця $\sigma_{n\theta}$ $\sigma_{n\theta}$ визначено для умов $h_к = h_c$ та $h_к = 0{,}5\ h_c$.

Таблиця 1

Навантаження, що діють на одиницю довжини ріжучої кромки в елементах озброєння породоруйнівного інструменту (кг/мм)

Осьове навантаження на породоруйнівний інструмент, даН	Частота обертання, об/хв	Вертикальна складова, %	Окружна складова, %	
			середня	максимальна
1000	80 144 182	45,45	32,8 25,5 22,1	45,3 36,0 27,8
1500	80 144 182	68,18	40,3 35,4 29,6	47,5 48,6 45,4
2000	80 144 182	90,91	50,6 41,5 37,3	68,1 54,9 46,2

Для зручності аналізу характеру напружень в ріжучих елементах породоруйнівного інструменту, значення напруг на передній грані елемента озброєння змінювали на безрозмірні. При цьому нормальне навантаження на одиницю площі передньої грані різця виражали через $\sigma_{n\theta} = -1$, а $P_o/P_в$ – через K_m.

Значення меж міцності твердого сплаву ВК 8 і його вигин також представлялися в безрозмірних величинах. Для цього величину цих меж міцності ділили на нормальне приведене навантаження на передню грань елемента озброєння, відповідну кожному режиму буріння (табл. 2).

За критерій руйнування ріжучих елементів породоруйнівного інструменту відповідно до теорії Мора прийняті напруги $(\sigma_1 - \sigma_2)/2$, які перебувають в залежності від нормальної напруги σ, тобто

$$(\sigma_1 - \sigma_2)/2 = f(\sigma). \tag{1}$$

Величина критичної напруги визначалася за формулою

$$\sigma_к = \frac{\sigma_{ст} \cdot \sigma_p + \sigma_{ст} \cdot \sigma_a - \sigma_p \cdot \sigma_a}{\sigma_{ст} + \sigma_p}, \tag{2}$$

де σ_a – нормальна напруга в будь-якій точці елемента озброєння долота; σ_p – межа міцності твердого сплаву на розтяг;σ_p – значення стискуючого навантаження для твердого сплаву.

Напруга $(\sigma_1 - \sigma_2)/2$ порівнювалося з критичною напругою, і якщо значення $\sigma_1 - \sigma_2$ було більше величини $2\sigma_к$, то передбачалося руйнування ріжучої кромки породоруйнівного інструменту.

Таблиця 2

Нормальні навантаження на одиницю площі передньої грані елемента озброєння бурового долота

Осьове навантаження на породоруйнівний інструмент, даН	Частота обертання, об/хв	Глибина занурення різця в породу h_c, мм	Нормальне навантаження на одиницю площі передньої грані різця при висоті контакту з породою		Відношення нормального окружного навантаження до вертикального, K_m
			σ	h_c	
1000	80	0,406	78 - 108	156 - 215	0,69 - 0,94
	144	0,406	61 - 86	121 - 171	0,54 - 0,76
	182	0,278	77 - 96	153 - 193	0,47 - 0,59
1500	80	0,916	42 - 50	85 - 100	0,57 - 0,67
	144	0,587	58 - 80	116 - 160	0,50 - 0,67
	182	0,387	74 - 117	148 - 235	0,42 - 0,66
2000	80	1,144	43 - 58	85 - 115	0,53 - 0,73
	144	0,403	44 - 59	89 - 117	0,44 - 0,56
	182	0,514	70 - 87	140 - 174	0,40 - 0,49

Висновки. Детально розглянуто та вивчено, з відповідними висновками, переваги та вади існуючих схем виконання вузлів бурових шарошкових доліт, як вітчизняних, так і закордонних моделей. Визначено умови роботи опорного вузлу таких доліт. Позначені передумови створення вдосконалених конструкцій опор шарошкових доліт. Проаналізовано вплив експлуатаційних чинників на умови роботи вузлів доліт в цілому, та на окремі деталі зокрема, з висуненням конкретних рекомендацій щодо інженерної методики створення нових конструкцій бурових ланцюгових доліт.

Перелік посилань

1. Hossain, M.E., & Islam, M.R. (2018). *Drilling engineering: problems and solutions.* Scrivener publishing.
2. Войтенко, В., & Вітрик, В. (2012). *Технологія і техніка буріння.* Центр Європи.
3. Коровяка, Є.А., & Ігнатов, А.О. (2020). *Прогресивні технології спорудження свердловин. Монографія.* Нац. техн. ун-т "Дніпровська політехніка".
4. Коровяка, Є.А., Хоменко, В.Л., Винников, Ю.Л., Харченко, М.О., & Расцвєтаєв, В.О. (2021). *Буріння свердловин. Навчальний посібник.* Нац. техн. ун-т "Дніпровська політехніка".
5. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2012). *Manufacturing systems. Modeling and analysis*. Springer.
6. Vaddadi, N. (2015). *Introduction to oil well drilling*. Bathos publishing.
7. Ігнатов, А.О., & Герасименко, М.В. (2013). *Бурове долото* (Patent No. 102284).

8. Ігнатов, А.О., & Андрусенко, С.Ю. (2011). *Бурове долото* (Patent No. 95315).
9. Ігнатов, А.О., & Андрусенко, С.Ю. (2011). *Бурове долото* (Patent No. 95202).
10. Білецький, В.С., Орловський, В.М., & Вітрик, В.Г. (2018). *Основи нафтогазової інженерії.* ТОВ "АСМІ".

ABSTRACT

Purpose. Improving the technical and economic indicators and the degree of perfection of the process of constructive selection, justification and engineering calculation of effective schemes for the implementation of individual units of drill bits, ensuring the constancy of the process of deepening the bottom hole with high productivity and resource saving.

Research methodology. Applied computational and laboratory studies of the design features of the design choice of drilling bits of new designs were carried out using modern methods of analytical analysis and experimental research, in particular, by using the general principles of mathematical and physical modeling, methods for processing research results in the EXCEL, MATHCAD environment, control and measurement systems and materials. The flow of borehole processes was modeled on experimental wells of the training drilling site of the Dnipro University of Technology using the UKB-4P drilling rig and the corresponding auxiliary tools and equipment.

Research results. A critical review of research and development in the field of designing drill bits was carried out; special attention is paid to the schemes for the implementation and operation of weapons systems and analysis of the properties of materials used to manufacture individual parts of drill bit assemblies; highlights the main advantages and disadvantages of existing schemes for the execution of bits; factors of working capacity and durability of elements of bits are defined; the causes of bit wear are established and the provisions of the problem of improving the technique and technology for making drill bit assemblies are formulated.

Originality. A constructive approach to the drilling bit execution system using advanced technology and the creation of a workable destructive assembly of the specified tool for well construction can be based on the principle of chain execution of the destructive body.

Practical implications. Fundamentally new design schemes for the implementation of the working destructive unit of the drill bit have been created, the use of which will lead to a significant increase in the productivity of exploration and production work, a reduction in the time for auxiliary operations, and an overall increase in the efficiency and economy of the well construction process.

Keywords: *drilling, well, chain bit, plain bearing, support unit, rock, working environment, structural materials.*