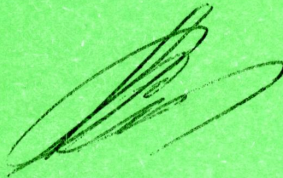


622.24.051(043)
Я45

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

Яким Роман Степанович



УДК 622.24.051.004.6

(043)

Я45

**НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ ЗАСАДИ ПІДВИЩЕННЯ
ДОВГОВІЧНОСТІ ТРИШАРОШКОВИХ
БУРОВИХ ДОЛІТ**

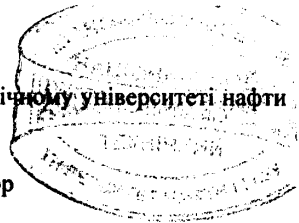
05.05.12 – Машини нафтової та газової промисловості

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Івано-Франківськ – 2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України



Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Петрина Юрій Дмитрович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри „Технологія нафтогазового машинобудування”.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Драганчук Оксана Теодорівна
Український науково-дослідний інститут нафтопереробної промисловості «МАСМА», заступник директора з наукової роботи, м.Київ,

доктор технічних наук, професор
Никифорчин Григорій Миколайович
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,
завідувач відділу корозійно-водневої деградації, та захисту матеріалів
м. Львів,

доктор технічних наук, професор
Гладкий Ярослав Миколайович
Хмельницький національний університет, директор інституту заочного та дистанційного навчання, м. Хмельницький.

Захист відбудеться « 19 » квітня 2012 р. о 13 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д20.052.04 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий « 17 » березня 2012 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д20.052.04
кандидат технічних наук, доцент

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Л.Д. Пилипів".

Пилипів Л.Д.

**АГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

Актуальність теми. Підвищення довговічності і ефективності функціонування тришаршкових бурових доліт є одним з основних і визначальних чинників суттєвого скорочення значних затрат на спорудження свердловин та якісного зростання показників бурових робіт. Відомо, що для забезпечення довговічності доліт необхідні знання про точні параметрами апробованих високоефективних конструкцій, методи проектування як конструкцій, так і технологічних операцій, а також фізико-механічні властивості матеріалів і їх зміцнення, комп'ютеризоване обладнання та сучасний інструмент. Все це вимагає науково обґрунтованого та економічно доцільного прийняття низки металознавчих, проектних, конструкторсько-технологічних рішень на основі вирішення комплексу задач на усіх етапах створення доліт.

Сьогодні чільне місце у створенні передових конструкцій тришаршкових бурових доліт посідають такі фірми як „Halliburton International, Inc”, „Baker-Hughes International, Inc”, „Shlumberger”, „Smith International”, „National Oilwell Inc”, „Security DBS”, „Varel International”, „Lilin Industrial Park”, „Reed Tool” та ін. Все це завдячується політикою значних капіталовкладень у роботу наукових та інженерних колективів цих підприємств. Достойне місце в долодобудуванні займають і сучасні підприємства колишнього СРСР. За рахунок переходу на технологію, закуплену в „Dresser International, Inc”, і значним зусиллям колективів Всесоюзного науково-дослідного інституту бурової техніки (ВНДІБТ), Московського інституту нафти і газу ім. І.М.Губкіна, ВО „Куйбишевбурмаш” „Дрогобицький долотний завод” (ДДЗ) та ін. вдалося вийти на рівень якості світових виробників. Зокрема, в країнах ближнього зарубіжжя відомі долота ВАТ „Волгабурмаш” і ВАТ „Уралбурмаш”, ООО „НПП «БУРИНТЕХ»” (Росія), „Glinik” (Польща) та ін. В Україні визнаними виробниками є ВАТ „ДДЗ” та Українсько-німецьке спільне підприємство у формі ТЗОВ „ІНТЕРНЕШНЛ КАТТЕР МАНУФЕКЧЕРЕР ГмБХ (ІСМ)” (міжнародне підприємство по виробництву бурового інструменту) (ТЗОВ СП „ІСМ”). За останні роки значні досягнення у підвищенні довговічності тришаршкових бурових доліт отримано завдяки роботам Боброва С.М., Блінкова О.Г., Богомолова Р.М., Долгушина В.В., Жидовцева М.О., Журавльова А.М., Закірова М.М., Іщука О.Г., Неупокоева В.Г., Торгашова А.В., Ясашина В.А, та ін. Значний вклад у підвищення довговічності тришаршкових бурових доліт внесли українські вчені: Бондаренко В.П., Бугай Ю.М., Драганчук О.Т., Дрогомирецький Я.М., Крижанівський Є.І., Марик В.Б., Петрина Ю.Д., Римар О.М. та їх учні.

Вивчення досвіду створення тришаршкових бурових доліт і відомих шляхів підвищення їх довговічності та ефективності показує, що сьогодні актуальним є не тільки створення тришаршкових бурових доліт з опорами ковзання із твердих зносостійких матеріалів, а й глибокий аналіз експлуатаційних показників доліт з метою вдосконалення технології проектування, конструювання та виготовлення конкурентоспроможних доліт. Тому актуальним є розробка комплексного методу вирішення проблеми підвищення довговічності тришаршкових бурових доліт на усіх етапах їх життєвого циклу, який має важливе значення для практики створення таких доліт, що дозволяє по новому, а саме на основі єдиного процесного підходу розв'язувати комплекс проектних та конструкторсько-технологічних задач із створення і мобільного освоєння нових конкурентоспроможних конструкцій та типорозмірів доліт.

an 2252 - an 2255

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика роботи є частиною планових державних науково-дослідних програм з розвитку нафтопромислового комплексу України і базується на результатах держбюджетних науково-дослідних робіт “Наукові обґрунтування раціональних режимів роботи та вибір основних параметрів бурового обладнання”, номер державної реєстрації №0195 U026337, які входять в координаційний план МОНмолодьспорту України “Наукові основи розробки нових технологій видобутку нафти і газу, газопромислового обладнання, поглибленої переробки нафти і газу з метою одержання вчсокоякісних моторних палив, мастильних матеріалів, допоміжних продуктів і нафтохімічної сировини”. Частина роботи виконувалась в рамках держбюджетної тематики кафедри машинознавства інженерного факультету Дрогобицького державного педагогічного університету ім. І. Франка „Дослідження конструкційних матеріалів” (номер державної реєстрації №0108 U008602), індивідуальна тема „Підвищення довговічності деталей обладнання нафтогазової промисловості” (відповідальний виконавець) (01.2008р – 12.2009р.). Робота виконувалась також в рамках договору № 2/11 від 18.03.2011р. між ТзОВ „Нафтогазовий науково-технологічний парк” та ТзОВ „Універсальна бурова техніка” (керівник теми).

Мета і завдання дослідження Мета роботи полягає у розробці теоретичних основ та практичних проектних і конструкторсько-технологічних заходів для підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт.

Для досягнення мети були поставлені наступні **завдання**:

1. Розробити спосіб для вдосконалення об'єктивного виявлення причин відмов тришарошкових бурових доліт.
2. Встановити резерв підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт шляхом вдосконалення конструкції опор Р-К-Р.
3. Встановити і розробити шляхи підвищення довговічності опор Р-К-Р з осьовими підшипниками ковзання.
4. Розробити комплекс заходів щодо підвищення якісних та експлуатаційних показників тришарошкових бурових доліт на усіх етапах їх створення.
5. Встановити критерії для підвищення довговічності бурових доліт на етапах проектування і зміцнення їх деталей.
6. Встановити і розробити шляхи підвищення довговічності вставного породоруйнівного оснащення на усіх етапах створення доліт.
7. Встановити шляхи підвищення довговічності доліт з опорами В, ВУ і АУ.

Об'єктом досліджень є: явища втрати працездатності елементів тришарошкових бурових доліт.

Предмет досліджень – вплив функціонально-орієнтованих проектних, конструкторсько-технологічних шляхів якісної зміни параметрів деталей тришарошкових бурових доліт на підвищення їх довговічності.

Методи дослідження. Дослідження проводились комплексним застосуванням фізичного, математичного моделювання та експериментальних лабораторних, стендових і натурних експлуатаційних випробовувань. Отримані основні положення дисертації, що складають наукову новизну, сформульовані висновки і прикладні рекомендації науково обґрунтовано математичним плануванням експериментів та статистичними методами обробки і аналізу отриманих результатів досліджень.

Наукова новизна: Автором самостійно вперше:

1. Розроблено ступенево-логічний аналіз, який відрізняється тим, що ґрунтується на оцінці зміни параметрів технічного стану деталей та елементів долота і дозволяє виявити найбільш імовірні причини відмови долота.
2. Встановлено новий комплексний напрямок у принципах проектування, конструювання, виготовлення та експлуатації опор Р-К-Р, що реалізує ефект підвищення контактної витривалості у водяних середовищах, підвищення вантажності замкового підшипника та стабілізації руху роликів рядів, що попереджає заклинювання опор через раніше не вивчені явища руйнування тіл кочення, проковзування й перекошування роликів великого підшипника в ділянці переходу „навантажена сторона – ненавантажена сторона”.
3. Розроблено новий комплексний напрямок у принципах проектування, конструювання і виготовлення та експлуатації опор Р-К-Р з осьовими підшипниками ковзання, який відрізняється тим, що ґрунтується на недопущенні явищ ударів у осьовому напрямку опори встановленням зазору 0,01–0,02мм між спряженими поверхнями „п’ята-підп’ятник”, а також збільшенням несучої здатності і якісному покращенні стабілізації опори в осьовому напрямку.
4. Розроблено новий комплекс заходів щодо підвищення якісних та експлуатаційних показників тришаршкових бурових доліт на усіх етапах їх створення і процесний підхід та критерії його реалізації у створенні таких доліт, який відрізняється тим, що дозволяє реалізовувати повну автоматизацію процесів комп’ютеризованого проектування і конструювання та виготовлення деталей доліт у єдиному інформаційному середовищі, а також забезпеченням комп’ютеризованої підтримки процесів життєвого циклу деталей і доліт в цілому.
5. Встановлено, що застосовуючи критерії конструкційної міцності, DI , K_{lc}^{oc} та оцінки стійкості до контактного руйнування, а також характеру руйнування прокату сталі при її рубанні можна ефективно підвищувати довговічність деталей доліт на усіх етапах їх створення.
6. Встановлено новий комплексний напрямок у принципах проектування, конструювання, виготовлення та експлуатації вставного породоруйнівного оснащення шарошок, який відрізняється регламентуванням градієнта твердості у тілі вінця шарошки, фізико-механічних показників спряжених поверхонь з’єднання „шарошка-зубок”, способом формоутворення отворів під вставки та новими конструкціями хвостовиків, параметрами пресування, а також спорядженням найбільш навантажених передпериферійних, периферійних рядів і вершину шарошки вставними зубками з підвищеними характеристиками міцності і тріщиностійкості.
7. Встановлено критерії підвищення довговічності тришаршкових доліт з опорами В, ВУ, АУ, що реалізують ефект створення сприятливих умов роботи елементів опор, підвищення конструкційної міцності та тріщиностійкості деталей.

Практичне значення одержаних результатів полягає у:

вдосконаленні стенду випробування доліт (патент України №96644); розробці працездатної конструкції долота з опорою, що містить сепаратор із низьков’язкої модифікованої епоксидної діанової смоли з металевими наповнювачами у вигляді порошоків бронзи і титану, що твердне після заливки в опору; розробці працездатної конструкції

опори Р-К-Р зі збільшеною вантажністю замкового кулькового підшипника (патент України 94293), яка впроваджена у виробництво на ВАТ „ДДЗ”; розробці працездатної конструкції опори з напвленою п’ятою та способу її виконання, що впроваджено на ВАТ „ДДЗ”; розробці нового напрямку у вдосконаленні конструкцій опор доліт з торцевими підшипниками ковзання (патент України № 38858); розробці способу вирішення проблеми економії долотної сталі шляхом електросталеплавильного переплавлення некратних заготовок, облою, бракованих деталей чи з відпрацьованих доліт, який впроваджений у виробництво на ВАТ „ДДЗ”; розробці рекомендацій щодо підвищення контактної витривалості відкритих опор, які впроваджені у виробництво на ТОВ „УНІБУРТЕХ”; розробці рекомендацій щодо підвищення контактної витривалості бігових доріжок формуванням сприятливого технологічного спадку точінням в розмір, які впроваджені у виробництво на ВАТ „ДДЗ” і механоультразвукового зміцнення, які впроваджені у виробництво на ТзОВ СП „ІСМ”; розробці рекомендацій щодо вдосконалення організації процесу створення нових конструкцій доліт, які впроваджені у виробництво на ВАТ „ДДЗ”; розробці критеріїв для оцінки якості зміцнення та моделювання процесу ХТО шарошок з плавко долотних статей, схильних до крихкого руйнування, які увійшли до нової редакції СТП 002156.031-2009 на ХТО деталей ВАТ „ДДЗ”; розробці нового напрямку у комплексному підвищенні довговічності вставного породоруйнівного оснащення доліт на усіх етапах їх створення, який реалізовується у вдосконаленні процесів проектування з’єднання „шарошка-зубок”, формоутворення отворів, параметрів процесів складання, який впроваджений у виробництво на ВАТ „ДДЗ”; розробці параметрів отримання композиційних зубків відцентровим литтям на основі сплаву Т15К6, який впроваджений у виробництво на ТзОВ СП „ІСМ”; розробці нових конструкцій породоруйнівних вставок, що забезпечують не тільки необхідну жорсткість з’єднання „шарошка-зубок” (патент України № 85941), а й економію цінних твердих сплавів (патенти України №38856 і №92969) (впроваджені у виробництво на ВАТ „ДДЗ”); розробці рекомендацій щодо вдосконалення способу складання секційних доліт з метою усунення випадків виникнення різновисотності; розробці нового способу захисту від спрацювання долота по діаметру на який отримано патент України № 95141; розробці нової працездатної конструкції опори долота з плаваючою втулкою, яка рекомендована до впровадження у виробництво доліт 295,3 СЗ ГАУ; розробці рекомендацій щодо підвищення довговічності доліт з опорами АУ, які впроваджені на ТОВ „УНІБУРТЕХ”.

Отриманий сумарний економічний ефект від впровадження розробок дисертаційного дослідження становить більше 4 млн. 950 тис. грн.

Положення, що виносяться на захист:

- 1) ступенево-логічний аналіз, який дозволяє виявити найбільш імовірні причини відмови тришарошкового бурового долота;
- 2) комплексні напрямки у принципах проектування, конструювання, виготовлення та експлуатації опор В, ВУ, АУ тришарошкових бурових доліт для підвищення їх довговічності;
- 3) комплексний напрямок у принципах проектування, конструювання, виготовлення та експлуатації вставного породоруйнівного оснащення шарошок для підвищення довговічності бурових доліт.

Особистий внесок здобувача. Із наукових праць, які опубліковано у співавторстві, на захист винесено їх основні частини, розроблені особисто дисертантом. Зокрема, [1, 2, 4, 15-18, 23, 24, 31, 33, 42, 52, 59-61] – встановлення, розроблення і обґрунтування критеріїв параметрів зміцнення шарошок і цапф формуванням сприятливого технологічного спаду, дані експериментальних досліджень; [3, 6, 51] – розроблення і обґрунтування методів експериментальних досліджень, вдосконалення конструкції обладнання та обробки даних експериментів; [19] – спосіб для виявлення причин відмов доліт; [5] – встановлення оптимальних параметрів роликів; [21, 49, 54, 55] – розроблення конструкції, експериментальні дані і обґрунтування підвищення вантажності замкового підшипника опор доліт; [12, 20, 46] – встановлення впливу конструкторсько-технологічних параметрів пари тертя „п’ята-підп’ятник” на експлуатаційні показники опор, розроблено конструкцію і обґрунтовано способи підвищення ефективності роботи такої опори, дані експериментальних випробовувань; [17] – встановлення впливу конструкторсько-технологічних параметрів пари тертя „упорний торець бурта лапи – упорний торець шарошки” на експлуатаційні показники опор, дані експериментальних випробовувань, розроблення конструкції і обґрунтування способів підвищення ефективності роботи опор доліт з такими підшипниками; [1, 10] – розроблення і обґрунтування способу вирішення проблеми економії долотної сталі; [2, 25] – розроблення і обґрунтування критеріїв та нового підходу в оптимальному виборі варіантів процесів при оцінці їх ефективності; [2, 26, 34, 44, 57] – розроблення і обґрунтування нового процесного підходу в створенні тришарошкових бурових доліт; [29] – встановлено вплив структури на тріщиностійкість роликів у водних середовищах і розроблені рекомендації уникнення зниження довговічності елементів відкритих опор; [1, 30, 43, 54, 63] – встановлення та обґрунтування критеріїв підвищення тріщиностійкості шарошок; [2, 9] – розроблення способу отримання твердосплавних зубків; [57] – розроблення конструкції і обґрунтування ефективності полімерного сепаратора для опор Р-К-Р; [2, 7, 8, 10, 11, 13, 53] – встановлення впливу фізико-механічних властивостей матеріалів, конструкторсько-технологічних параметрів на надійність з’єднання „зубок-шарошка”, дані експериментів, розроблення і обґрунтування способів підвищення довговічності з’єднання; [11, 22, 45, 47, 48] – розроблення і обґрунтування нового напрямку в конструюванні хвостовиків, що знижують жорсткість системи „порода – зубок – шарошка” і забезпечують економію цінних твердих сплавів; [2, 14] – розроблення і обґрунтування способу попередження різновисотності шарошок секційних доліт; [27, 28, 50] – дані експериментів, розроблення і обґрунтування рекомендацій щодо підвищення довговічності і ефективності доліт типу ОК з відкритою опорою; [32, 33] – дані експериментів, розроблення і обґрунтування критеріїв та нової конструкції опори для підвищення довговічності доліт ВУ і АУ.

Методики, аналітичні і емпіричні залежності і отримані результати, які виносяться на захист, належать особисто автору. Усі винаходи, зроблені в ході виконання роботи, є результатом колективної творчості. Автор приймав безпосередню участь у доведених розроблених конструкцій до промислових зразків і впровадженні розробок у виробництво та промислових випробовуваннях.

Автор висловлює вдячність та засвідчує своє визнання доктору технічних наук, професору Петрині Юрію Дмитровичу, та член.-кор. НАН України доктору технічних наук, професору Крижанівському Євстахію Івановичу, у яких він отримав консультації під час виконання дисертаційної роботи, а також керівництву ТОВ „УНІБУРТЕХ”, що сприяло проведенню експериментальних випробовувань.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на: 8, 9, 10 Міжнародних симпозиумах українських інженерів-механіків у Львові (2007, 2009, 2011); Міжнародних науково-технічних конференціях: „Машиностроение и техносфера XXI века” (XII - 2005, XVI - 2009), „Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці. ІФТУНГ-40” (2007); „Машиностроение и техносфера XXI века” (XIV - 2007); „Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій” (2008, 2010); Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування” (2009); „Прогресивна техніка та технологія - 2009” (2009); „Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи” (2009); „Прогресивна техніка та технологія - 2010” (2010); „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій” (2010); 4-тій Міжнародній конференції „Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій” (2009); Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції „Сучасні технології в промисловому виробництві” (2010); Всеукраїнській науково-технічній конференції „Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении „Механообработка. Севастополь – 2010”” (2010); XIII Международной конференции „Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения” (2010); Всеукраїнській науково-технічній конференції з міжнародною участю „Лазерні технології. Лазери та їх застосування” (2011).

У повному обсязі робота доповідалася на розширеному науково-технічному семінарі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, 2011).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 73 робіт, з яких дві монографії, один посібник з грифом МОН України, 41 стаття у фахових виданнях України, 7 – патентів України, 22 – у збірниках праць, матеріалів міжнародних конференцій і симпозиумів. В авторефераті 10 робіт не подано оскільки за рекомендацією конференцій і симпозиумів їх у повному об’ємі опубліковано в фахових виданнях України.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 367 найменувань на 43 сторінках, та 64 додатки на 107 сторінках. Робота містить 186 рисунки (17 – на окремих сторінках) та 10 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 293 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані мета роботи, і задачі та методи досліджень, наукова новизна, практичне значення отриманих результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача у публікаціях та апробацію публікацій отриманих результатів перелік місць їхньої апробації.

В першому розділі досліджено закономірності виходу з ладу тришарошкових бурових доліт та сучасні підходи до підвищення їх довговічності.

Аналізом пошкоджень та відмов, а також якісних і експлуатаційних показників тришарошкових бурових доліт виділено три основні невирішені проблеми у підвищенні довговічності доліт. Це стійкість до руйнування цапфи лапи і елементів опори долота; стійкість до руйнування тіла шарошки; надійність кріплення вставного поро-

руйнівного оснащення. Показано, що найбільш об'ємних досліджень вимагають питання підвищення довговічності опори і вставного породоруйнівного оснащення шарошок. Вдосконалення підшипників кочення можна умовно розділити на декілька підгруп – оптимізація геометрії підшипників і їх елементів, підбір матеріалів та їх зміцнення, роботи з покращення процесів мащення і охолодження елементів опори. Виходячи з цього дисертаційне дослідження спрямувалося не тільки на докладне вивчення можливості вирішення окреслених проблем і розробку нових конструкцій елементів доліт, а й вироблення практичних рекомендації для впровадження у виробництво. З цією метою у даному розділі здійснено аналітичний огляд сучасних підходів підвищення довговічності як окремих елементів, вузлів, так і долота в цілому для розробки методу комплексного вирішення проблеми підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт на усіх етапах їх життєвого циклу.

При оцінці довговічності тришарошкового долота суттєвим є встановлення тих елементів і вузлів, відмова яких веде до повної чи часткової втрати працездатності долота. Тому стоїть питання у встановленні причини відмов та взаємозв'язку між найбільш імовірною причиною відмови та імовірним наслідком, що призвів до виходу з ладу долота. Для цього розроблено ступенево-логічний аналіз для виявлення причин відмов долота за змінами параметрів технічного стану деталей і елементів долота. Побудова дерев відмов і їх аналіз дає можливість виявити імовірні шляхи, які ведуть до відмови долота, де імовірність виникнення відмови i -того елемента долота можна представити імовірністю технічного стану елемента:

$$p_i = P[X_i = 1] = EX_i$$

де X_i – двійкова випадкова величина, що приймає значення 1 і 0 та означає однозначність технічного стану i -того елемента.

Показано, що відмову долота визначають: вибір матеріалів та їх зміцнення для отримання заданих фізико-механічних властивостей і експлуатаційних показників; рівень якості вирішення конструкторсько-технологічних задач проектування, конструювання і виготовлення деталей і долота в цілому; рівень ефективності та конструкційної досконалості елементів доліт, що визначають його довговічність. Такий комплекс повинен ґрунтуватися на розроблених нових принципах у проектуванні, конструюванні і виготовленні та критеріях підвищення довговічності деталей доліт.

Другий розділ присвячено методам та засобам теоретичних та експериментальних досліджень для вирішення задач дисертаційної роботи.

Комплексні експериментальні випробовування здійснювали на стандартних зразках, спеціально виготовлених і підготовлених темплетях з деталей бурових доліт. Застосовано як стандартне лабораторне устаткування та методики, так і спеціально розроблене. На розроблену методику і вдосконалене устаткування для стендових випробувань доліт отримано патент на винахід.

З метою максимального зв'язку з реальним виробництвом доліт і одержанням достовірних підтверджень отриманих теоретичних рішень основна частина експериментів здійснювалася на базі центральної заводської лабораторії та випробувальної і дослідної станції ВАТ „ДДЗ”, а також застосуванням верстатного парку цехів цього підприємства. Для обґрунтування ефективності розроблених конструкцій деталей і елементів доліт проведено порівняльні стендові випробовування секцій доліт, а також

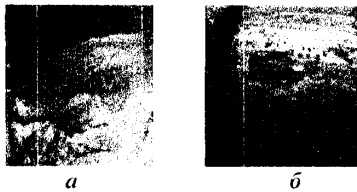
випробовування доліт в умовах випробувальної станції, що відтворює умови роботи долота. Здійснено низку порівняльних кваліфікаційних експлуатаційних випробовувань нових конструкцій доліт.

У розділі наведено наступні розроблені інженерні методики: вибору оптимальних процесів на стадії виготовлення долота, а також описано устаткування і методи зміцнення, випробовування на зношування і тріщиностійкість, відцентрового лиття композиційних зубків, встановлення конструкторських параметрів елементів долота, виконання нової конструкції п'яти на торці цапфи лапи.

Третій розділ присвячено теоретичним і практичним засадам підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт з опорою Р-К-Р.

Аналізом кінематичних параметрів та пошкоджень тіл кочення в опорах Р-К-Р встановлено, що процеси проковзування мають основний вплив на працездатність елементів опори. Одночасно, якщо для кульок такі явища не є визначальними, то кінематика роликів суттєво змінюється, що проявляється втратою стабільності руху, розбалансуванням рядів. Справа у тому, що ковзання роликів і їх знос більше проявляються по їх основах. Одночасно встановлено, що замковий кульковий підшипник зазнає значного зношування на стадії припрацювання. У процесі роботи контакт кульок в навантаженій зоні відбувається по боковій стороні канавки, що прилягає до роликів доріжки. Це зумовлює зношування цапфи як в радіальному, так і в осьовому напрямках. У результаті знос цапфи в осьовому напрямку є більшим за знос в радіальному напрямку. Це сприяє руйнуванню буртика і упорних торців деталей опори. Зношування роликів по торцю розвивається досить інтенсивно, прискорюючись пластичною деформацією, що веде до заокруглення основ роликів. Знос по торцю ролика може складати 2-2,5мм, що знижує довговічність роликів рядів опори.

Встановлено аналітично і експериментально обґрунтовано, що збільшення діаметрів кульок і роликів підшипників опор Р-К-Р веде до підвищення довговічності таких опор. Чим більші геометричні розміри роликів, тим більше будуть обмежуватися і умови для їх розвороту у верхній частині цапфи долота. Стендові дослідження показали на оптимальне співвідношення $l : d = 1 \dots 1,5$. При цьому висота бурта бігової доріжки повинна становити 0,7-0,8 радіуса ролика.



а – пряма лінія переходу орієнтована під кутом 30° до осі цапфи;

б – крива лінія переходу, орієнтована під кутом 10° до осі цапфи

Рисунок 1 – Руйнування роликів бігової доріжки цапфи лапи долота в ділянці переходу „навантажена сторона – ненавантажена”

Встановлено, що процеси проковзування і перекошування роликів великого підшипника в ділянці переходу „навантажена сторона – ненавантажена сторона” (рис. 1) є основною причиною розбалансування руху роликів рядів і веде до заклинювання

опори. Недопущення таких явищ та покращення умов тертя кочення можливо стабілізувати шляхом виконання опори шляхом виконання сепаратора (рис. 2) способом заливання роликів в опори композиційним зносостійким матеріалом з його наступним твердненням. Експериментально обґрунтовано, що таким матеріалом сепаратора можуть бути низьков'язкі модифіковані епоксидні діанові смоли з металевими наповнювачами у вигляді порошків бронзи і титану та отверджувачами. На розроблену конструкцію отримано позитивне рішення на видачу патенту.



Рисунок 2 – Загальний вигляд комплексу полімерних сепараторів для малого і великого роликів підшипника кочення

Розроблено і захищено патентом на винахід конструкцію опори Р-К-Р, в якій реалізується ефект підвищення вантажності замкового кулькового підшипника на 21%, а параметри підшипників вибираються відповідно до наступних співвідношень:

$$\frac{d_{MP}}{D_{MP}} = \frac{d_K}{D_{ЗКП}} = 0,18; \quad \frac{d_{BP}}{D_{BPP}} = 0,14,$$

де d_{MP} – діаметр ролика малого кінцевого підшипника кочення, мм;

D_{MP} – зовнішній діаметр малого роликів кінцевого підшипника кочення, мм;

d_K – діаметр кульки замкового підшипника кочення, мм;

$D_{ЗКП}$ – зовнішній діаметр кулькового замкового підшипника кочення, мм;

d_{BP} – діаметр ролика великого периферійного підшипника кочення, мм;

D_{BPP} – зовнішній діаметр великого роликів підшипника кочення, мм.

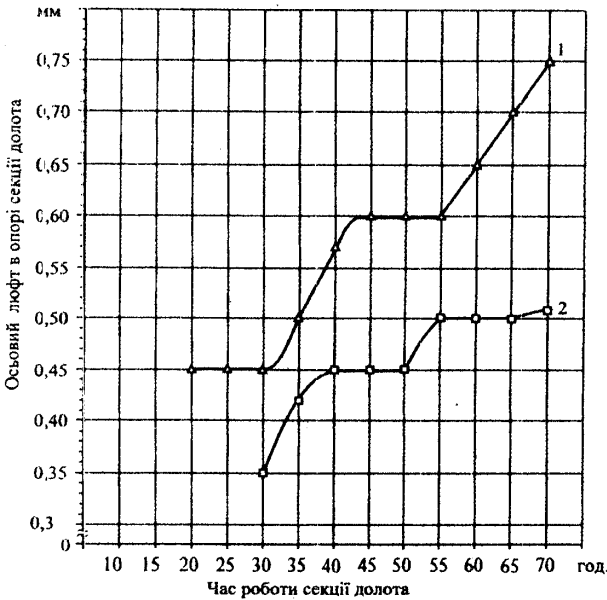
Для долота 244,5 ОК-ПГВ-D26 У2, параметри підшипників опори будуть такими: $D_D = 250,8$ мм; $d_{MP} = 8$ мм (14шт.); $D_{MP} = 44,08$ мм; $d_K = 15,875$ мм (14шт.); $D_{ЗКП} = 88,18$ мм; $d_{BP} = 12,575$ мм (19шт.); $D_{BPP} = 89,14$ мм.

Стендові випробування секцій доліт з опорою серійної конструкції та експериментальної показали, що експериментальна опора забезпечує вищу довговічність за рахунок кращої роботи замкового кулькового підшипника. Аналізом експериментів встановлено вищу стійкість експериментальної конструкції опори до утворення люфтів (рис. 3) та перекошування. Незважаючи на те, що в базовій конструкції основне осове навантаження сприйняв підшипник ковзання „п'ята-підп'ятник” тут зафіксовано більше значення люфту в 1,3 рази порівняно з експериментальною опорою. Тобто зростання вантажності замкового кулькового підшипника на 21% забезпечує підвищення довговічності недопущенням передчасного виникнення люфтів в опорі. Експлуатаційні відпрацювання доліт з експериментальними опорами показали збільшення проходження у середньому в 1,7 разів порівняно з серійними та вищу стабільність відпрацювання.

Четвертий розділ присвячено розробці теоретичних основ і конструкторсько-технологічних рішень для підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт з опорою Р-К-Р і осьовими підшипниками ковзання.

Аналізом результатів стендових досліджень на предмет динаміки просідання п'яти і підп'ятника, припрацювання і зносу секцій шарошкових доліт встановлено, що

найбільше просідання таких деталей відбувається за перші 4,5 год роботи опор. У сумі утворений зазор між парою п'ята-підп'ятник від 0,11 до 0,33мм веде до перекосу шарошки відносно осі цапфи.



1 – серійна конструкція опори;

2 – експериментальна конструкція опори

Рисунок 3 – Динаміка зростання осьового люфту в спорах секцій доліт у процесі відробки в стендових умовах

Як наслідок, неоднчасне вступання в контакт робочих поверхонь опори і надмірне навантаження на елементи опори веде не тільки до передчасної втрати працездатності п'яти і підп'ятника, а й руйнування тіл кочення, заклинювання роликових рядів. Тому для попередження описаних негативних явищ експериментально обгрунтовано важливість забезпечення площинності dna отвору та виконання канавки на його рівні, в яку буде витискатися стружка утворена при пресуванні. Для підп'ятника важливим є формування точності конусних поверхонь, на які він базується. Слід також оптимізувати поля допусків на механічне оброблення отворів під посадку деталей та підвищити якість контролю складальних операцій. Рекомендується виконувати секції з парами п'ята-підп'ятник із забезпеченням зазору 0,01 – 0,02мм при умові відсутності явища просідання в момент припрацювання.

Встановлено, що причиною заклинювання малого роликового підшипника і руйнування торця кінцевого підшипника ковзання на цапфі є низька конструкційна міцність через застосування вставної п'яти. Для усунення цього розроблено конструкцію і спосіб згідно якого п'ята виконується наплавленням стеліту Stellite 190, який відрізняється тим, що наплавлення проводиться у спеціальне гніздо в торці цапфи лапи і в наплавленій п'яті забезпечується отвір для охолоджуючого агента, а підп'ятник містить паз для охолоджуючого агента. Стендовими експериментальними дослідженнями обгрунтована ефективність розробленого способу. Виконання наплавленням п'яти усуває небезпечний переріз та знижує можливість утворення тріщин в тілі бурта малого роликового підшипника і в ділянці „мала бігова доріжка – дно під посадку п'яти”.

Виконання на підп'ятнику канавки для охолоджуючого агента, який по ходу руху шарошки забезпечує охолодження по всьому об'єму порожнини опори, позитивно впливає на її охолодження. В серійній опорі течія охолоджуючого агента орієнтується

в одному напрямку, що є явно недостатнім для охолодження. Також рекомендується проводити термічну обробку під'ятників з використанням автоматизованих печей, що дозволяють жорстко контролювати процес. Глибина знеугличення поверхневих шарів не повинна перевищувати 0,25мм, або припуск на механічне оброблення. Кваліфікаційні випробовування експериментальної партії доліт зі зміненою конструкцією вузла „п'ята – під'ятник” в умовах Полтавського „ГЗК” показали збільшення напрацювання у 1,6 разів порівняно з серійними конструкціями.

Стеновими дослідженнями встановлено вплив конструкторських параметрів опори та матеріалів опори на характер зносу спряжених елементів підшипника „упорний торець цапфи – упорний торець шарошки”. Встановлено, що у всіх випадках знос наплавленого шару не перевищує 0,1мм. Найменша інтенсивність зносу цементованого упорного торця шарошки (рис. 4) забезпечується якісними показниками плавки сталі та хіміко-термічною обробкою. Зміна охолодження в парі „п'ята-під'ятник” шляхом виконання на під'ятнику каналів для охолоджуючого агента і встановлення оберненої п'яти позитивно вплинули на стійкість опори. Тут постійна зміна струменю промивної води з ходом обертання шарошки забезпечувала кращі умови тертя в парі.

Вимірюваннями до і після відпрацювання комплектів на стенді протягом 20год отримано середні значення радіального (0,433мм), торцевого (0,5мм) биття та зносу упорного цементованого торця (0,423мм). У результаті математичної обробки цих даних отримали лінійне рівняння регресії, що дає можливість оцінити вплив радіального ξ і торцевого η биття шарошки на знос цементованого торця шарошки – I_T :

$$I_T = 0,276 + 0,141\xi + 0,17\eta \quad [\text{мм}].$$

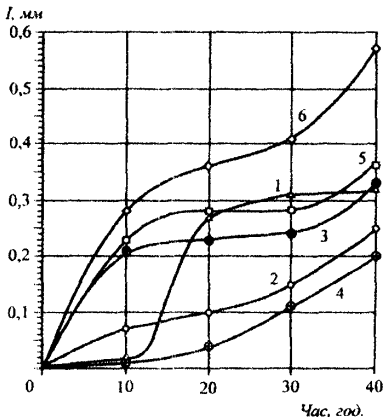


Рисунок 4 – Характер зносу упорного торця шарошки зі сталі 14ХН3МА-В

- 1 – упорний торець комплекту №1, де упорний торець бурта лапи наплавлений по всій ширині робочої поверхні;
- 2 – упорний торець комплекту №2, де упорний торець бурта лапи захищений від цементації і змінена система охолодження в парі п'ята-під'ятник;
- 3 – упорний торець комплекту №3, де упорний торець бурта лапи наплавлений по всій ширині робочої поверхні без канавки для наплавлення стеліту;
- 4 – упорний торець комплекту №4 з підвищеними вимогами до хімічного складу та термообробки шарошки і лапи;
- 5, 6 – упорні торці комплектів №5 і 6, які виготовлені за серійною технологією

З отриманого рівняння випливає, що при відсутності биття шарошки знос є мінімальним і, очевидно, залежить від конструктивного виконання упорного підшипника ковзання „п'ята-під'ятник” та узгодженої роботи всіх підшипникових рядів опори. Разом з тим, торцеве биття в досліджуваних межах має сильніший вплив ніж радіальне приблизно на 20,6%. Це може бути пояснене тим, що при відпрацюванні долота з

високими значеннями торцевого биття зростають ударні навантаження. В результаті інтенсифікується процес руйнування відповідальних поверхонь опори. Крім того, в роботу інтенсивно вступає замковий підшипник кочення та роликові ряди опори, що створює вкрай важкі умови для функціонування роликових рядів, які не в змозі нормально працювати при значних осьових навантаженнях.

Встановлено, що підвищення довговічності опор Р-К-Р з осьовими підшипниками ковзання ефективно вирішується не тільки підвищенням тріщиностійкості та зносостійкості контактуючих елементів, а також:

конструктивним забезпеченням одночасного рівномірного навантаження між спряженими і контактуючими елементами під час припрацювання доліт та необхідністю зазору 0,01–0,02мм між парами „п'ята-підп'ятник”, який не допускає явищ ударів у осьовому напрямку опори, оскільки встановлено, що торцеве биття має сильніший вплив ніж радіальне (приблизно на 20,6%) на відмову опор;

проектуванням конструкцій вузлів „п'ята-підп'ятник” в яких реалізовується ефект підвищення конструкційної міцності;

конструктивним забезпеченням охолодження і вибіркового перенесення в зоні тертя, у зв'язку з чим розроблено новий напрямок у вдосконаленні конструкції опор доліт з осьовими підшипниками ковзання, який відрізняється тим, що довговічність опор забезпечується мінімальними зазорами і належними умовами контакту спряжених поверхонь торця цапфи лапи і торця шарошки при виникненні перекосів між віссю цапфи лапи і шарошки шляхом реалізації ефекту стабілізації роботи опори і підвищення її несучої здатності в осьовому напрямку за рахунок регламентованого і прогнозованого зміщення контактуючих упорних торців шарошки і цапфи лапи. На одну з конструкцій отримано патент України.

П'ятий розділ присвячено результатам дослідження з підвищення якісних та експлуатаційних показників тришарошкових бурових доліт на усіх етапах їх створення.

Встановлено, що для лап доліт типу ОК, які працюють в умовах буріння порід категорії міцності $f=18\div 20$, слід застосовувати сталь електрошлакового переплаву типу 14ХНЗМА-Ш. Для недопущення руйнування елементів опори в тонких перерізах твердість їх серцевини повинна становити HRC30-42.

Аналізом елементів опор тришарошкових бурових доліт 244,5 ОК-ПГВ-Д26 та 250,8 ТКЗ-ПГВ-Д27 (як в процесі стендових випробувань секцій і доліт з їх розбиранням та оцінюванням стану елементів опор, так і повністю відпрацьованих доліт у стендових та реальних умовах) встановлено механізм руйнування та взаємозв'язок між характером руйнування цементованого шару і параметрами зміцнення долотних сталей. Показано, що контактна витривалість бігових доріжок цапф лап залежить від якісних показників плавки сталі 19ХГНМА-В та фізико-механічних параметрів отриманих при хіміко-термічному зміцненні деталей. З цією метою необхідно добирати плавки сталі, які забезпечують при їх зміцненні високі показники в'язкості і пластичності цементованого шару та серцевини при одночасному забезпеченні їх показників міцності. Це досягається, з одного боку, регламентованим хімічним складом, прогартовуванням, ударною в'язкістю, границею плинності та іншими фізико-механічними показниками плавки сталі у стані поставки. З другого боку, необхідне прийняття оптимальних пара-

метрів термообробки і їх якісним дотриманням з метою отримання плавних розподілів твердості та пошарової концентрації вуглецю від поверхні до серцевини.

Розроблені параметри високотемпературної термомеханічної обробки (ВТМО) заготовок литої сталі 20ХГН3МА з долотного брухту, що дає границю міцності $\sigma_B=1440\text{МПа}$, границю плинності $\sigma_{0,2}=1230\text{МПа}$, ударну в'язкість $KCU=7,5\text{Дж/см}^2$. Це сприяє вирішенню проблеми економії долотної сталі. Експериментальні долота виготовлені згідно розробленого способу показали збільшення проходження в середньому на 42,6% та вищу стабільність відпрацювання порівняно з серійними при експлуатаційних буріннях.

Експериментально встановлено, що одним з вагомих чинників, який спричинює втрату працездатності відкритих опор кочення тришарошкових бурових доліт, є утворення корозійних уражень впродовж простою в експлуатації і низька тріщиностійкість високоміцної сталі за дії водного середовища. Корозійних уражень впродовж простою можна не допустити консервацією поверхонь, що контактують. Роликова сталь 55СМ5ФА зі структурою мартенситу має низьку в'язкість руйнування, а вода суттєво, до 40%, її понижує. Це пояснює різку втрату працездатності опор доліт після простоїв у бурінні. Оскільки для виготовлення роликів опор бурових доліт необхідна високоміцна сталь з високою зносостійкістю, оптимальний структурний стан металу слід вибирати з умови поєднання задовільних рівнів як зносостійкості, так і тріщиностійкості. Рекомендовано сталь 55СМ5ФА зі структурою дрібнозернистого мартенситу з троститом порядку 1% та твердістю HRC56-58.

Експериментально обґрунтовано доцільність заміни шліфування цапф лап на точіння у розмір перед ХТО та застосування обкочування і механультразвукового зміцнення для виправлення несприятливого технологічного спадку. Застосування для виготовлення лап шарошкових доліт сталі 21ХГНМА-В замість 19ХГНМА-В, а також криогенна обробка їх цапф перед складанням долота дозволяє очікувати підвищення довговічності опор приблизно на 15-23% за критерієм стійкості до контактного руйнування.

Розроблено новий процесний підхід у створенні тришарошкових бурових доліт, що забезпечує неперервний комплексний контроль над зв'язками окремих процесів у межах єдиної системи автоматизованих процесів, а також над їхніми взаємозв'язками в єдиному інформаційному комп'ютеризованому середовищі, який відрізняється тим, що на етапі комп'ютеризованого проектування і конструювання лапи і шарошки паралельно виконується проектування операцій технологічних обробок, та застосуванням показників якості і спрощеною методикою встановлення найкращого варіанта процесу, а також забезпеченням комп'ютеризованої підтримки процесів життєвого циклу деталей і доліт в цілому. Для ефективної реалізації такого процесу розроблено структуру єдиної інформаційної системи реалізації процесу проектування, конструювання, підготовки виробництва і виготовлення деталей бурових доліт. Застосування такого підходу забезпечило ВАТ „ДДЗ” високу гнучкість в створенні і освоєнні нових конструкцій та типорозмірів тришарошкових бурових доліт. При цьому задовольняються всі вимоги згідно ISO 9001 та ISO 10424. Підхід дозволяє використовувати високі потужності банків даних типових процесів, які щораз поповнюються. Також зростає рівень конструкторської стандартизації та уніфікації. Об'єднання складних операцій механічного оброблення в один автоматизований процес та застосування

критерію для визнання ефективності операції з позиції конструкторсько-технологічних, функціонально-експлуатаційних та економічних показників якості, а також методика встановлення найкращого варіанта процесу дозволили обґрунтовано і економічно виправдано застосовувати високоефективні процеси.

Шостий розділ присвячено результатам дослідження з підвищення стійкості до руйнування шарошок бурових доліт.

Оскільки плавки сталі 14ХНЗМА у стані поставки можуть мати різні фізико-механічні властивості та різну тріщиностійкість, то важливим є встановлення оптимальних значень глибини цементації шарошок для різних плавок. Так як на підприємствах для оцінки придатності плавок долотних сталей застосовується критерій міцності D_I , що прийнятий в американських стандартах (згідно ASTM критерій міцності D_I встановлюється відповідно до хімічного складу стандартної плавки), тому встановлений зв'язок між критеріями D_I і K_{1c}^{oc} . З цією метою встановлено, що для попередження явищ крихкого руйнування шарошок, виготовлених з плавки сталі 14ХНЗМА із показниками D_I близькими до верхньої межі ($D_I=4,0$), відношення площі нецементованої серцевини до всієї площі небезпечного перерізу в площині руйнування повинно становити не менше 0,6.

Якісні показники пластичності загартованих цементованих поверхонь шарошок і цапф лап будуть забезпечуватися в'язкістю руйнування цементованого шару $K_{1c}^{oc} = 45 \dots 58 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$, а серцевини – $K_{1c}^{oc} = 25 \dots 35 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$, при цьому повинна задовольнятися умова плавного переходу в ділянці цементованій шар-серцевина. Цементований шар повинен мати дрібну однорідну мартенситну структуру з карбідами 1-2 кл та залишковим аустенітом до 3кл.

Здійснені дослідження впливу ВТМО на циклічну тріщиностійкість сталі 14ХНЗМА. Встановлено, що для діапазону високих значень $\Delta K = 20 - 30 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ ВТМО слабо впливає на тріщиностійкість сталі 14ХНЗМА. Із зниженням рівня циклічного навантаження стає відчутним позитивний ефект оброблення металу: він збільшується зі зменшенням ΔK і максимально проявляється на припороговій ділянці навантаження. Так пороговий рівень розмаху коефіцієнта інтенсивності напружень ΔK_{th} зростає від $4,5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ для сталі у вихідному стані та до $8,5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ для сталі підданій ВТМО. Таким чином, ВТМО приблизно у 2 рази підвищує тріщиностійкість досліджуваної сталі. Стосовно ударної в'язкості такої сталі, то її підвищення обґрунтовується зменшенням величини зерна з 5-7 до 7-8 балів та підвищенням його однорідності.

Випробуваннями зразків зі сталі 14ХНЗМА, термічно зміцнених за різними режимами, встановлено, що гартування з високим відпуском порівняно з цементованими дає ударну в'язкість вищу приблизно в 2,6 разів. Цей факт пояснює високу схильність до крихкого руйнування шарошок у небезпечному перерізі – в ділянці між вінцями, яка піддається цементації. Необхідно зауважити, що твердість в цьому перерізі становить HRC39–41, що свідчить про наскрізне прогартування у місці перепаду перерізів різної величини. Як відомо, в таких випадках у небезпечних перерізах є найбільша імовірність утворення тріщин. Оскільки схема контуру обмазки (захисту від цементації поверхонь шарошки) суттєво впливає на експлуатаційні показники при бурінні через зниження конструкційної міцності, то істотним є внесення в неї змін.

Такими змінами може бути нанесення двох вузьких смуг обмазки в небезпечній ділянці між вінцями №2 і №3. Для встановлення ефективності ВТМО та нової схеми обмазки шарошок на ВАТ „ДДЗ” виготовили партію доліт (10шт). Відпрацювання таких доліт у реальних умовах буріння показало, що на відміну від серійної партії, де половина доліт недопрацювала і вийшла з ладу через руйнування однієї з шарошок у ділянці небезпечного перерізу між вінцями №2 і №3, експериментальні долота відмовляли через заклинювання опори. Якщо експериментальні долота показали незначне збільшення проходження (на 73п/м) порівняно із серійними, то відносна похибка проходження в експериментальних є в 1,976 разів меншою, що підтверджує більшу стабільність відпрацювання експериментальних доліт. Експлуатаційні відпрацювання експериментальної партії доліт з шарошками, виготовленими згідно розробленої технології, показали вищу стійкість, що дозволяє використовувати форсовані режими буріння при збільшенні проходження на долота приблизно в 1,4 разів порівняно із серійними.

Також встановлено, що хімічний склад і фізико-механічні властивості плавков сталі 14ХН3МА-В, маючи у окремих випадках суттєві відмінності, створюють передумови крихкого руйнування шарошок бурових доліт. Для попередження виникнення цього негативного явища необхідно на стадії вхідного контролю відмовлятися від прокату, який погано рубається, чи при рубанні якого утворюються тріщини. Для підвищення тріщиностійкості шарошок цементацію слід проводити при жорсткому контролі вуглецевого потенціалу згідно програми моделі керуючої системи Ipsen-Carb-o-Prof-III. Необхідно також здійснювати гартування з температури цементації після підстуджування азотом та проводити ряд відпусків для зняття внутрішніх напружень. Охолодження деталей після насичення слід проводити у середовищі атмосфери печі з додатковою подачею в камеру охолодження азоту. Для кожного типорозміру долота експериментально встановлені параметри товщини цементованого шару, розподілу концентрації вуглецю в шарі та градієнт твердості. Встановлені критерії для оцінки якості зміцнення та моделювання процесу ХТО шарошок з плавков долотних сталей, схильних до крихкого руйнування увійшли до нової редакції СТП 002156.031-2009 на ХТО деталей ВАТ „ДДЗ”.

На основі встановленого впливу негативного технологічного спадку сформованого шліфуванням на тріщиноутворення і руйнування шарошок в ділянці замкової бігової доріжки обґрунтовано заміну шліфування тонким точінням на верстатах VSC фірми „EMAG”, що ведеться з одного установу і досягається вища точність та якість шарошки на відміну від шліфування, яке проводиться на різних верстатах. Апробація та впровадження таких рішень у технологічний процес виготовлення шарошок показало економічну доцільність і усунуло проблеми з формуванням негативного технологічного спадку, що спричинював до руйнування шарошок.

Сьомий розділ присвячено результатам дослідження з підвищення довговічності та ефективності породоруйнівного оснащення шарошок бурових доліт на усіх етапах його створення.

Одним з перспективних напрямків підвищення працездатності відцентрово армованого оснащення є підвищення зносостійкості внаслідок використання твердих сплавів типу WC-TiC-Co. Однак, володіючи підвищеною твердістю, такі сплави мають відносно низьку питому вагу (9-13 г/см³). Це створює труднощі при відцентровому литті. Тому здійснений пошук альтернативних сплавів сплавам ВК. З цією метою у

якості зносостійкого наповнювача відцентрово армованих зубків були вибрані тверді сплави (частинки грануляцією 0,9-0,6мм): Т8К7, Т15К6, Т30К8, які містять TiC відповідно 8%, 15% і 30%. В якості матричної основи застосовано сталь 20ХН3А. У результаті встановлено, що сплав Т15К6 (79%WC, 15%TiC, 6%Co) є найбільш перспективним твердим сплавом, альтернативним сплавам ВК, що застосовуються для армування зубків шарошкових бурових доліт. Задовільне заповнення робочої частинки зубка твердого сплаву досягається при збільшенні температури заливки сталі до 2073К і попередньому нагріві ливарної форми до 673К. При цьому витримка зерен твердого сплаву в рідкій сталі більше 10-15с веде до небажаних явищ, таких як зменшення твердості, руйнування самого зерна чи надмірної його розчинності, утворення пористості на границі зерно-сталь. Спосіб відцентрового армування вставного оснащення шарошкових доліт із застосуванням замість сплаву ВК сплаву Т15К6 апробований і рекомендований до впровадження на ТзОВ СП „ІСМ”.

Також проведено комплексні дослідження з підвищення довговічності вставного породоруйнівного оснащення. З цією метою вивчено можливості оцінювання напружень у спряжених матеріалах „зубок-отвір”. Відтак встановлено, що зменшуючи запас міцності можна збільшити силу натягу, тим самим підвищити жорсткість з’єднання. У спряженні „зубок-отвір” при натягах, що відповідають зонам пружної деформації, коефіцієнт тертя (зчеплення) незначно змінюється, а при переході у зону пружно-пластичної деформації коефіцієнт тертя зі збільшенням натягу зростає. Одночасно граничні величини натягу у спряженні „зубок-отвір” обмежуються: мінімальна – міцністю зчеплення, максимальна – появою тріщин навколо отвору. Тим не менше огляд вставного породоруйнівного оснащення відпрацьованих доліт показує, що поряд з виладанням зубків через мінімальні натяги маємо різний характер руйнування твердосплавних зубків. Для виявлення причин цього явища на ВАТ „ДДЗ” було підготовлено партії доліт з верхнім максимальним натягом у з’єднанні „зубок-отвір”, що у середньому дорівнював 0,23мм, 0,19мм, 0,16мм (згідно технології виготовлення вінця шарошок захищені від цементації). Якісним аналізом породоруйнівного оснащення відпрацьованих доліт виявлено типовий характер руйнування для кожної партії доліт. Отже, при середньому натягу 0,23мм у з’єднанні „зубок-отвір” зубок зазнає недопустимі внутрішні напруження, що прискорюють його руйнування. Тут спостерігається інтенсивне тріщиноутворення і зубок буквально розсипається. У результаті фрагменти хвостовика завальцьовуються у тіло шарошки, що веде до повної зупинки проходки долота. Середній натяг 0,19мм у з’єднанні „зубок-отвір” також, хоч менш інтенсивно, дає подібні руйнування – зубки руйнуються заплідлице тіла вінця шарошки і маємо повну втрату здатності руйнувати породу вибою долотом. Середній натяг 0,16мм у з’єднанні „зубок-отвір” дає можливість очікувати найкращі показники з довговічності твердосплавного вставного оснащення. Тут залежно від міцності твердого сплаву зубка і характеру навантаження зі сторони вибою відбувається або самозаточування зубків, або відколонування вражаючої частини зубків. Зауважимо, що у всіх випадках при оцінці довговічності вставного породоруйнівного оснащення визначальним є тріщиностійкість твердосплавних зубків, тому однозначну відповідь на питання про оптимальні натяги потрібно шукати у встановленні оптимальних напружень, виходячи з конкретних фізико-механічних показників тіла вінця шарошки і хвостовика зубка. З цією метою проведені порівняльні дослідження впливу коефіцієнта запасу міцності тіла

шарошки на величину оптимального натягу пресового з'єднання „зубок-шарошка” та на силу випресовування зубка (зубок з сплаву ВК8-ВК) для шарошок з сталей 14ХНЗМА, 16ХНЗМА, 20ХНЗА, 17НЗМА. Стендовими досліддами встановлено, що фізико-механічні властивості сталі 14ХНЗМА дають найкращі показники, що визначають надійність з'єднання „зубок-шарошка”.

Проведені дослідження впливу твердості та структури долотних сталей шарошки на міцність з'єднання „шарошка-зубок”. Дослідження вели на шарошках із долотних сталей 14ХНЗМА, 16ХНЗМА, 17НЗМА, 20ХНЗА. Згідно наших випробовувань спостерігається оптимальний розподіл твердості по глибині отвору в шарошках з сталей 14ХНЗМА та 20ХНЗА. Причому кращі показники по плавності зміни значень твердості від поверхні до серцевини були в шарошках зі сталі 14ХНЗМА. Також, спостерігали занижену твердість цементованого шару шарошок зі сталей 16ХНЗМА та 17НЗМА. Значно кращі показники твердості цементованого шару в сталі 14ХНЗМА, а для сталі 20ХНЗА, – у межах норми. Вивченням мікроструктури темплетів шарошок у ділянках отворів під твердосплавні зубки також встановлено, що найбільш оптимальною і однорідною структурою володіє сталь 14ХНЗМА. Експлуатаційними буріннями встановлено, що застосування для шарошок сталі 14ХНЗМА на відміну від сталей 16ХНЗМА, 17НЗМА, 20ХНЗА дає найвищі напрацювання доліт за рахунок вищої міцність з'єднання „зубок-шарошка”.

Оскільки суттєво підвищити надійність з'єднання „шарошка - зубок” у бурових долотах можна за рахунок точності його спряжених поверхонь, здійснені комплексні дослідження з вивчення чинників, що формують точність. З цією метою вивчено можливості формування селективних груп вставних зубків і отворів. Статистичним аналізом показано, що формування дев'яти селективних груп дозволяє отримати необхідну точність складання при економічній точності оброблення з'єднуваних деталей, а також запобігає виникненню натягів на верхній та нижній границях, які знижують надійність такого з'єднання. Також встановлено, що при умові збереження експлуатаційних параметрів зміцненої шарошки, найвищу міцність з'єднання „зубок-шарошка” забезпечує їх запресовування з нагрівом шарошки і охолодженням зубка (різниця температур $\Delta T \approx 600\text{K}$). При цьому, дотримуючись шорсткості отворів в шарошці $R_a \approx 0,63\text{мкм}$ та селективного складання, підвищується стійкість з'єднання приблизно на 50% порівняно зі стійкістю в серійних долотах. Сталь 14ХНЗМА дозволяє проводити запресовування зубків в шарошку при швидкостях 1-3 мм/с, що дає можливість підвищити міцність з'єднання до 30%. Отримані дані дозволили розробити технологію, що апробована і впроваджена у процес виготовлення шарошкових доліт.

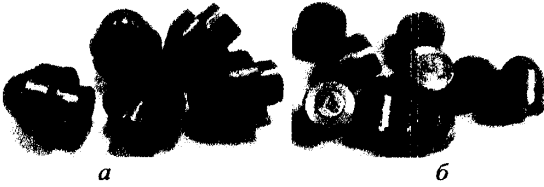
Експериментально встановлено рівняння регресії, згідно якого найбільш сильно розбивка отвору при його формоутворенні в шарошці залежить від розподілу твердості по глибині: $\Delta = 32,9 - 2,1x_1 - 3,9x_2 - 4,3x_3 - 2,1x_4$. Причому найбільше на розбивку впливає занижена твердість на рівні 1,6-2мм повної глибини цементованого шару ($x_2 = 3,9$) та на рівні половини глибини отвору ($x_3 = 4,3$). Менше на розбивку впливає твердість на глибині 0-0,12 цементованого шару шарошки $x_1 = 2,1$ та серцевини в ділянці отвору $x_4 = 2,1$. Одночасно зафіксовано мінімальну розбивку отвору (14мкм) отриману на шарошці зі сталі, що мала градієнт твердості: HRC64 – поверхня шарошки (0-0,12мм глибини цементованого шару); HRC52 – повна глибина

цементованого шару (1,6-2мм); HRC39 – половина глибини отвору; HRC37 – ділянка дна отвору. Отримані дані є близькими до оптимальних. У результаті оптимізації градієнта твердості по глибині отвору вдалося зменшити розбивку отвору в 2,2 разів порівняно з основним рівнем. Встановлений кореляційний зв'язок між параметром шорсткості R_a і розбивкою отвору Δ дозволив обгрунтовано вирішувати проблему забезпечення відносної стабільної шорсткості та мінімальної розбивки отворів. З цією метою розроблено і апробовано технологію формування отворів під посадку твердосплавних зубків, що включає застосування прогресивних верстатів моделі MCV з ЧПК та різального інструменту - монолітних розверток типу CC5 (Solid Carbide drill) FIVN з внутрішнім охолодженням. Ця технологія апробована в умовах виробництва і впроваджена.

Ще одним вагомим шляхом у підвищенні довговічності пресового з'єднання „зубок – шарошка” є вдосконалення конструкції хвостовиків. У результаті встановлених характерних пошкоджень спряжених поверхонь отвору і хвостовика вставного зубка обгрунтовано найбільш перспективний (з огляду на напружений стан в зубку і шарошці) напрямок, що полягає в зменшенні жорсткості робочої системи „порода – зубок – шарошка”. З цією метою встановлено вплив коефіцієнта запасу міцності тіла шарошки на величину оптимального натягу пресового з'єднання „зубок-шарошка” та на силу випресовування зубка в різних ділянках хвостовика. Отримані дані засвідчили, що при однакових значеннях посадки для ділянок спряжених матеріалів „твердий сплав – сталь” забезпечується приблизно в 1,7 разів більша міцність і жорсткість контакту порівняно з ділянками „сталь – сталь”. Зауважимо, що виконання в ділянці спряження сталь – сталь натягу $N_d = 0,26$ мм забезпечує силу випресовування $p_n = 43$ кН, що відповідає такому самому значенню сили випресовування для ділянки „твердий сплав – сталь”, яка відповідає запасу міцності порядку $k_p = 1,655$. Отже, при виконанні комбінованого хвостовика відкриваються можливості здійснювати ранжування значень натягів по всій довжині спряженої поверхні і встановлювати необхідну міцність з'єднання „зубок-шарошка”. З цією метою розроблено й захищено патентом нову конструкцію порсдоруйнівної вставки і проведено стендові випробовування шарошкового долота 250,8ТКЗ-ПГВ-Д27Б з експериментальними зубками (рис. 5). Зубок виготовлено з сплаву ВК10КС-К. Шарошки та кільця хвостовиків зубків виготовлено з сталі 14ХН3МА. Порсдоруйнівна вставка, забезпечуючи необхідну жорсткість системи „порода – зубок – шарошка”, виявила належні експлуатаційні показники. Дана конструкція дозволяє також економити на матеріалах та трудових затратах, пов'язаних з виготовленням як отворів під посадку вставок, так і твердих сплавів, що йдуть на виготовлення вставок. Наприклад, для долота 250,8 ТКЗ-ПГВ-Д27Б, де кількість вставок дорівнює 150шт, їх вага в базовій конструкції дорівнює 6,34кг, а при застосуванні експериментальної конструкції вага вставок зменшується до 5,01кг. Тобто для виготовлення згаданих доліт потреба в цінному твердому сплаві порівняно з серійними долотами зменшується у 1,265 разів на одне долото.

Аналітичний аналіз сучасних конструкцій породоруйнівних вставок для тришарошкових бурових доліт, а також тенденцій його розвитку показав на доцільність подальшої розробки конструкцій, що реалізують ефект економії твердого сплаву. З цією метою розроблена і захищена патентом на винахід нова конструкція, яка включає

робочу головку, циліндричний хвостовик з порожниною (рис. 6) і розташований в ньому диск, герметизовану камеру, заповнену нестисливою рідиною з температурою кипіння вищою за температуру нагріву хвостовика в процесі роботи. Стендовими дослідженнями доліт з експериментальним зубком встановлено працездатність розробленої конструкції на рівні серійної конструкції. Цей винахід дозволяє на зубках різних конструкцій діаметром 13-19мм збільшувати економію твердого сплаву в 1,2-1,3 разів, причому зі збільшенням типорозміру зубка ефект економії зростає. Розробки впроваджені у виробництво тришарошкових бурових доліт.



a – твердосплавні зубки з ступінчастим хвостовиком; *б* – шліфовані твердосплавні зубки з комбінованим хвостовиком у складеному стані
Рисунок 5 – Загальний вигляд твердосплавних зубків експериментальної конструкції



Рисунок 6 – Загальний вигляд серійних і експериментальних (з пустотілим хвостовиком) твердосплавних зубків

Ще одним напрямком у конструюванні хвостовиків вставних зубків є реалізація ефекту оптимізації жорсткості системи „шарошка-зубок-порода” і створення можливості підвищення міцності з’єднання „зубок-шарошка” шляхом збільшення площі спряжених поверхонь зубка та отвору в шарошці. З цією метою розроблено і захищено патентом на винахід черпакоподібний зубок. Апробація і випробовування розробленої конструкції черпакоподібного зубка виявила, що така конструкція не може бути застосована у випадках, коли треба суттєво підвищити вильот вставного зубка, конструкція також не забезпечує необхідної стійкості до руйнування зубка при його пресуванні в тіло шарошки. Але найбільш проблематичним є те, що конструкція вимагала збільшення розтрат цінного твердого сплаву, що робило економічно невиправданим впровадження у виробництво. З цією метою розроблено нову конструкцію, що включає циліндричний твердосплавний хвостовик з конусоподібною порожниною за аналогом до конструкції поданої на рис. 6. Тут порожнина заповнюється матеріалом, що володіє границею пружності і тріщиностійкістю вищою за матеріал тіла зубка, крім цього хвостовик додатково споряджений втулкою, що має в основі конус. Для ефективного зчеплення хвостовика з тілом шарошки втулка виготовляється з сталі, яка йде на виготовлення шарошки.

Спостереженнями за відпрацюванням породоруйнівного оснащення доліт 244,50К-ПГВ-Д26 виробництва ВАТ „ДДЗ” при бурінні порід міцності 16-18 за шкалою М.М.Протождяконова виявлено, що твердосплавні зубки руйнуються найбільше на периферійному та передпериферійному рядах і у вершині шарошок. Таке явище спостерігається вже після проході 100-120м, а сколювання і руйнування зубків на 3 і 4 ряді шарошок фіксується при проході долотом 150-160м. При цьому необхідно зауважити, що знос до 90% породоруйнівного оснащення на периферійних і передпе-

риферійних рядах шарошок та руйнування їх вершин відбувається при бурінні порід міцності 19-20 за шкалою М.М.Протодяконова з проходом долота 120м. Тому на цих рядах необхідно застосовувати твердосплавні зубки з підвищеними показниками міцності. З цією метою було проведено дослідження з підбору ефективного матеріалу для оснащення доліт. Зокрема, випробовування доліт 244,50К-ПГВ-Д26 виробництва ВАТ „ДДЗ” в умовах кар’єрів Кривбасу (буріння порід міцності 17-19 за шкалою Протодяконова) показали наступне: стійкість породоруйнівного оснащення доліт, виконаного на основі зубка з твердого сплаву ВК13, є на 15% вищою порівняно з оснащенням на основі зубка з твердого сплаву ВК10-КС. Разом з тим розташування зубків із сплаву ВК10-КС на 1, 2, 3 рядах, а зубків із сплаву ВК13 на 4, 5 рядах забезпечило загальний знос породоруйнівного оснащення рівним 18,8%. Аналіз відпрацювання двох дослідних партій доліт виробництва ВАТ „ДДЗ” на кар’єрах Південного. Новокриворізького та Центрального ГЗКів показав перспективність застосування комбінованого оснащення з застосуванням сплавів В20 і В30 виробництва фірми „Борт Лонгієр”. З цією метою в одній партії (долота 250,80К-ПВ-Д80А) зубки зі сплаву В30 встановлювали на основних і периферійних рядах, а зубки зі сплаву В20 – на вершинах шарошок. У іншій партії (долота 250,80К-ПВ-Д80Б) зубки зі сплаву В20 встановлювали на основних і периферійних рядах, а зубки зі сплаву В30 – на вершинах шарошок. У результаті при бурінні порід міцності 16-19 за шкалою М.М.Протодяконова спостерігали стирання зубків на периферії у більшій мірі, ніж на середніх рядах. одиничні випадки сколювання зубків та незначний відсоток часткових сколів зубків. У цілому долота 250,80К-ПВ-Д80А порівняно з 250,80К-ПВ-Д80Б показали збільшення проходження при бурінні в умовах Південного ГЗК (породи міцності 18-19 за шкалою М.М.Протодяконова) на 8,7%, Новокриворізького ГЗК (породи міцності 8-17, 14-18 за шкалою М.М.Протодяконова) на 32,2%, Центрального ГЗК (породи міцності 12-18 за шкалою М.М.Протодяконова) на 6,1%.

Отже, вдосконалення конструкції вставного твердосплавного оснащення тришарошкових бурових доліт повинно здійснюватися комплексним розв’язанням низки технічних задач. Першою задачею є розробка конструкції породоруйнівних вставок на основі наступних принципів: ефективності впливу на породу вибою, надійності кріплення в тілі шарошки, жорсткості системи „порода – зубок – шарошка”, економії цінних твердих сплавів. Другою задачею є впровадження конструкцій породоруйнівного оснащення, де реалізується обґрунтоване комбіноване розташування твердосплавних зубків з необхідними характеристиками міцності. Також необхідне розроблення конструкцій породоруйнівного оснащення вершин шарошок для недопущення їх руйнування.

Восьмий розділ присвячено результатам дослідження з підвищення довговічності та ефективності буріння тришарошковими буровими долотами.

Аналізом випадків аварійних відмов долота, коли на вибої залишалися відламани секції тришарошкових доліт, встановлено, що недостатня точність конструкції долота є результатом недосконалого процесу складання. Оглядом відпрацьованих доліт виявлено факти утворення тріщин на зварному шві секцій та розгерметизацію корпусів. Як виявилось, секції долота не мали належного щільного прилягання, що свідчить про недосконалість технології складання при зварювальних операціях. Так, в той частини доліт, де величина діаметра після складання не відповідає допустимим

значенням, доводиться робити додаткове розбирання і складання для встановлення прокладок в стиках між секціями. При встановленні прокладок для досягнення необхідної точності діаметра змінюються значення інших розмірних параметрів, розкриваються стики між секціями. Це створює передумови для появи поволок секцій при зварці долота і, як наслідок, змінюються раніше отримані при складанні його розмірні параметри. Встановлення прокладок у стиках веде також до розвертання секцій навколо нижньої кромки площини двогранного кута в ділянці під шарошкою, або навколо кромки площини двогранного кута біля торця ніпеля. Зміна кутового положення секцій, що збираються, порушує величину гарантованих зазорів між зубками, що характеризує зачеплення шарошок. Причому порушується як зазор між боковими площинами, так і зазор між вершинами і впадинами зубків. З цією метою вдосконалено метод регулювання секцій при їх складанні, що підвищує точність цього процесу, який ґрунтується на забезпеченні заданої величини діаметра і мінімальної різновисотності, що забезпечується способом переміщення двох секцій відносно третьої, базової. Три секції збирають в “букет” шарошками догори, причому базова ніпельною частиною опирається на дві жорсткі опори, що самі встановлюються за висотою. Спряження між секціями здійснюється по площинах двограних кутів. Отримання контакту в стиках між секціями домагаються утворенням замкнутого контуру, що дорівнює 360° , і зменшення моменту зміщення при регулюванні двох секцій, які підтикаються до базової чотирма самоустановними за висотою підпружиненими опорами. Розмір умовного діаметра долота перевіряють кільцем-калібром і, якщо діаметр долота не відповідає внутрішньому діаметру калібру, одним із регулювальних гвинтів пристрою здійснюють переміщення секцій, поки діаметр долота не досягне необхідної величини. Калібр при регулюванні не знімають. В отриманому положенні секцій прикладають силве замикання чотирма жорсткими опорними елементами, потім долото зварюють, калібр при цьому не знімають з долота.

Аналізом даних відпрацювання тришарошкових доліт типу ОК встановлено, що значне зниження проходження можна пояснити неоптимальною схемою відробки та за рахунок гірничо-геологічних умов. Так, у окремих випадках долота 250,8 ОК-ПГВ-Д150М спочатку відпрацьовували в породах вищої міцності, а пізніше на породах нижчої міцності. Це призводило до передчасного руйнування твердосплавного встановного оснащення, зносу тіла шарошки і обривів вершин шарошок. Експериментально обґрунтовано, що бурові долота доцільно спочатку припрацьовувати в породах з нижньою міцністю (до 16-17 одиниць за шкалою М.М.Протодьєконова), а далі в породах з вищою міцністю. Суттєве зниження працездатності досліджуваних доліт зумовлене низькою стійкістю до руйнування спинок лап, що веде до швидкої втрати початкових значень діаметра долота. Частими є випадки, коли долото виходить з ладу через руйнування спинок лап при цілком працездатній опорі і породоруйнівному оснащенні шарошок. Інколи руйнування нижньої частини спинки лапи і її козирка призводить до оголення роликів периферійного підшипника, заклинювання опори, випадання роликів на вибій, що спричинює аварійні ситуації при бурінні. Попередження таких аварійних ситуацій можливе за рахунок циклічно-диференційної схеми використання доліт і їх ремонту. Для цього спинки лап наплавляють релітом з метою відновлення захисту від зносу козирка спинки. Тим не менше проблема низької зносостійкості козирків залишається актуальною. З цією метою розроблено новий спосіб

підвищення ефективності буріння тришарошковими буровими долотами з відкритою опорою шляхом вдосконалення конструкції захисту долота від спрацювання по діаметру, який захищено патентом на винахід. Експериментально встановлено, що вдосконалена конструкція армованого козирка спинки лапи забезпечує ресурс його роботи рівним ресурсу роботи всіх інших елементів захисту від спрацювання по діаметру долота. Експериментальні випробовування показали підвищення проходження доліт з новою конструкцією захисту козирка в 2,15 разів.

Для розробки критеріїв вдосконалення сучасних вітчизняних тришарошкових доліт з найменшими капіталовкладеннями проаналізовано працездатність імпортних доліт на прикладі доліт марки 15½VU-11, які показують стабільні експлуатаційні показники. Також на ВАТ „ДДЗ” для порівняння зносостійкості опори і породоруйнівного оснащення з серійними долотами 393,7 М-ГВУ D34 було виготовлено партію експериментальних доліт. Долота відпрацювали в однакових геологічних умовах при бурінні ротором. У результаті встановлено, що порівняно з долотами аналогічної конструкції 15 ½ VU-11 експлуатаційні показники серійних доліт 393,7 М-ГВУ D34 є значно нижчими. Так, значення проходження є меншим у 6,21 разів, стійкості в 3,78 разів і механічній швидкості буріння меншій у 1,32 разів. Це спричинено випадками виходу з ладу системи герметизації і мащення та відмови опори, а також катастрофічним руйнуванням фрезерованого породоруйнівного оснащення шарошок. Отже, аналіз руйнування серійних доліт показав, що всі вони передчасно вийшли з ладу. Виявлено не тільки низку проблем, пов'язаних з фізико-механічними та експлуатаційними показниками матеріалів шарошки і цапфи лапи, але й слабкі місця в конструкції опори. А саме, поверхні осьового підшипника ковзання не забезпечують стійкість опори до виникнення перекосів між осями цапфи лапи і шарошки. Хоч великий роликівий підшипник кочення в даній конструкції виконаний в шарошці, цього виявляється недостатньо для попередження розвертання і руйнування роликів в умовах зростаючих люфтів в опорі та коливання шарошки відносно цапфи лапи. Збільшення зазорів в опорі також спричинює передчасний вихід з ладу вузла герметизації, що вимагає його вдосконалення. Одночасно можна констатувати, що фрезеровані зубки не володіють достатнім запасом міцності за критерієм тріщиностійкості сталі шарошки. Тому при виготовленні експериментальної партії доліт з метою підвищення тріщиностійкості шарошок і лап застосовано критерії, розроблені в шостому розділі дисертації. Для цього до сталі шарошки були висунуті підвищені вимоги щодо якості хімічного складу та показників пластичності в стані поставки. Метою цих заходів було отримання під час термообробки високих показників пластичності і в'язкості цементованого шару та серцевини при одночасному забезпеченні їх показників за критеріями тріщиностійкості. Також відповідно до розроблених рекомендацій і вдосконаленого технологічного процесу заготовки деталей доліт пройшли ВТМО. Стосовно підвищення довговічності елементів опори, то виходячи з позиції критерію накопичення пошкоджень в трибологічній парі „упорний торець цапфи лапи – упорний торець шарошки” для підвищення стабільності роботи опори в осьовому напрямку, попередження передчасного виникнення люфтів в опорі у цементованому упорному торці шарошки експериментальних доліт виконували циліндричні мідні вставки.

Проведені експлуатаційні випробовування показали, що експериментальні долота (відпрацювали в таких самих умовах як і аналізована партія доліт базової конст-

рукції 393,7 М-ГВУ D34) мали вищу стійкість до крихкого руйнування та вищу зносостійкість наплавленого фрезерованого оснащення шарошок порівняно з серійними. Так, в експериментальній партії доліт не зафіксовано випадків передчасного руйнування фрезерованого оснащення чи заклинювання опор на відміну від серійних доліт, де ці явища мали місце. Експериментальні долота порівняно із серійною партією доліт мали приблизно в 2,9 разів більше проходження, в 1,58 разів більшу довговічність при зростанні в 1,52 разів механічної швидкості буріння. Порівняно з імпорнтними долотами 15 ½ VU-11 експериментальні долота виявили приблизно в 2,13 разів менше проходження, в 2,39 разів меншу довговічність при більшій в 1,14 разів механічної швидкості буріння. При цьому осьове навантаження на експериментальні долота було більшим приблизно в 1,5 разів порівняно з імпорнтними. Відтак, ціна та експлуатаційні показники експериментальної конструкції долота показують на їх конкурентоздатність. Отже, для підвищення довговічності бурових тришарошкових доліт з опорою ВУ і фрезерованим сталевим породоруйнівним оснащенням слід керуватись наступними критеріями. Для забезпечення довговічності фрезерованих і армованих релітом сталевих зубків необхідно, щоб сталь шарошки у стані поставки володіла якісними показниками не тільки по чистоті хімічного складу, а й володіла високими показниками пластичності. Також у процесі виготовлення заготовки шарошок мають проходити обов'язкове ВТМО для отримання сприятливого технологічного спадку. Термічні обробки шарошки і наплавлення на зубки реліту повинні забезпечувати необхідний запас міцності за критерієм тріщиностійкості сталі шарошки. Для цього слід жорстко контролювати прогартованість сталі шарошки по перерізі профілю зубів, міцність зчеплення і якість структури наплавленого реліту. Серцевина зубка повинна володіти високою в'язкістю і пружністю. Для конкретних плавок сталі шарошки мають призначатися необхідні режими хіміко-термічної обробки (температура підстуджування при цементації та температури другого гартування і відпусків) з метою отримання оптимальних параметрів зміцнених шарів (товщина цементованого шару, пошарова концентрація вуглецю, градієнт твердості) для кожного типорозміру і конструкції долота. При вдосконаленні конструкції осьового підшипника ковзання „упорний торець цапфи лапи – упорний торець шарошки” слід створювати умови мащення, інтенсивне відведення тепла з зони контакту і ефект вибіркового перенесення за рахунок застосування ефективних антифрикційних матеріалів. Важливим є оптимізація спряжених поверхонь осьових підшипників ковзання, зносостійкість яких визначає довговічність опори при високих частотах обертання шарошок. Проведені кваліфікаційні випробовування експериментальної партії доліт показали на доцільність подальшого вивчення резервів підвищення довговічності доліт з опорою ВУ.

Для вивчення причини виходу з ладу сучасних конструкцій доліт з опорою АУ і виявлення резервів у підвищенні їх довговічності здійснено аналіз відпрацьованих опор долота 11 5/8 АУ-54Х. Встановлено, що довговічність серійних вітчизняних доліт 295,3 СЗ-ГАУ є значно меншою від імпорнтних доліт. Зокрема, значення проходження є меншим в 6,5 разів, стійкості в 5,9 разів при практично однаковій механічній швидкості буріння. Зниження цих показників спричинене випадками катастрофічного руйнування як елементів опори, так і корпусів шарошок. Тому для підвищення довговічності шарошкових доліт з опорою АУ сформульовано наступні задачі: підвищити тріщиностійкість шарошок і лап; підвищити несучу здатність опори; вдосконалити конструк-

цію радіальних підшипників ковзання; вдосконалити конструкцію осьових підшипників ковзання; підібрати антифрикційні матеріали для підшипників ковзання. Для підвищення тріщиностійкості шарошок і лап застосовано критерії, розроблені в шостому розділі аналогічно до доліт з опорою ВУ. Також для виготовлення лап було використано замість сталі 19ХГНМА сталь 21ХГНМА. Ці сталі володіють практично однаковими фізико-механічними властивостями цементованого шару, однак сталь 21ХГНМА забезпечує вищу міцність серцевини. Заготовки лапи і шарошки пройшли ВТМО. З метою підвищення несучої здатності опори і зменшення імовірності ламу цапфи з малим підшипником ковзання (МПК) в небезпечному перерізі за аналогом до низки конструкцій доліт провідних виробників доліт з опорою АУ в експериментальних опорах збільшено радіус заокруглення галтелі в зоні переходу „МПК – упорний торець цапфи лапи”. На основі базової конструкції опори тришарошкового долота 295,3 СЗ-ГАУ проведено розрахунок великого підшипника ковзання для випадку, коли він працює в екстремальних умовах при недостатньому мащенні згідно методики В.О.Воскресенського і В.І.Дякова. Також проведені розрахунки для вдосконалення конструкції введенням плаваючої втулки, які показали, що експериментальній опорі для забезпечення плавного обертання шарошки потрібно менше на 37,2% підведення потужності порівняно з базовою конструкцією. Тобто від експериментальної конструкції можна очікувати покращення експлуатаційних показників. З метою підвищення стабільності роботи опори та зносостійкості в парі „упорний торець цапфи лапи – упорний торець шарошки” в цементованому упорному торці шарошки експериментальних доліт впресовувалися циліндричні мідні вставки. Для вирішення питання застосування антифрикційного матеріалу для плаваючої втулки здійснено аналіз п’яти відпрацьованих імпорتنих доліт. Встановлено, що плаваюча втулка з композиційного матеріалу на залізній основі (тверда композиція (Cr, Mn, Si, Ti) – 53,6%, м’яка композиція (Cu, Zn, Pb, Be, Sn) – 20%) твердістю HRC50-52 може ефективно використовуватися в парі з наплавленим стелітом.

Аналізом руйнувань експериментальних доліт, що відпрацьовали в аналогічних умовах до експлуатації партії базової конструкції, встановлено вищу стійкість до крихкого руйнування шарошок і цапф лап. Зокрема тут не зафіксовано випадків крихкого руйнування. Експериментальні долота мали приблизно в 2,5 разів більше проходження, в 1,74 разів більшу довговічність при збільшенні в 1,4 разів значення механічної швидкості порівняно із серійними. Порівняно з імпортними долотами стійкість експериментальних доліт є нижчою в 3,38 разів. При цьому необхідно зауважити, що механічна швидкість імпорتنих доліт була меншою в 1,33 разів. Тобто, експериментальна конструкція дозволила суттєво наблизитися до рівня експлуатаційних показників сучасних імпорتنих доліт, що при значно меншій собівартості вітчизняних доліт сприяє їх конкурентоспроможності в співвідношенні „ціна-якість”. Отже, виявлено і обґрунтовано значний резерв у підвищенні довговічності шарошкових доліт з опорою АУ, суть якого полягає в наступному: підвищенні тріщиностійкості шарошок і лап; підвищенні несучої здатності опори; вдосконаленні конструкції радіальних підшипників ковзання; вдосконаленні конструкції осьових підшипників ковзання; підборі ефективних і оптимальних антифрикційних матеріалів для підшипників ковзання. Реалізація зазначених умов забезпечення довговічності дозволяє усунути крихке руйнування деталей долота за рахунок застосування ВТМО заготовок та введення спеці-

альних режимів хіміко-термічної обробки. Збільшення радіусу заокруглення галтели в зоні переходу „МПК – упорний торець цапфи лапи” знижує ймовірність руйнування цапфи лапи в цьому небезпечному перерізі. Введення в конструкцію великого підшипника ковзання плаваючої композиційної втулки підвищує плавність обертання шарошок, забезпечує кращі умови самовстановлення і стійкості опори до ударних навантажень, знижує ризик відмов опор у процесі пуску та припрацювання долота на вибої. Відведення тепла і забезпечення сприятливих умов тертя в осьовому підшипнику ковзання „упорний торець цапфи лапи – упорний торець шарошки” встановленням в упорний торець шарошки мідних циліндричних вставок дозволяє підвищити стабільність роботи опори в осьовому напрямку і при перевантаженні опори забезпечує стійкість до утворення значних зносів у навантаженій зоні, що спричиняють до утворення зазорів в опорі, нерівномірності руху шарошки і її заклинювання на вибої. Проведені кваліфікаційні випробування експериментальної партії доліт показали на доцільність подальшого вивчення резервів підвищення довговічності шарошкових доліт з опорою АУ. З цією метою розроблено нову конструкцію, що реалізує ефект підвищення довговічності за рахунок якісної зміни функціонування великого підшипника ковзання і стабілізації роботи опори в осьовому напрямку.

Конструкцію герметизації опори АУ лінії FS (на основі двох ущільнюючих кілець) необхідно вдосконалити для недопущення швидкої розгерметизації опори. Також необхідно підвищити точність спряжених поверхонь по замковому підшипнику кочення для недопущення передчасного виникнення люфтів і коливання шарошки, що інтенсифікує процеси розгерметизації опори.

Отже, встановлено критерії підвищення довговічності і ефективності буріння тришарошковими долотами з опорами В, ВУ, АУ, які відрізняються тим, що попереджаються злами секцій і підвищується міцність вставного породоруйнівного оснащення найбільш навантажених вінців шарошки, а також створюються сприятливі умови роботи підшипників опор і герметизації та підвищується ударна в'язкість шарошок.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Теоретичними і експериментальними дослідженнями отримано нове вирішення науково-технічної проблеми підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт, яке ґрунтується на результатах розв'язання комплексу науково-технічних задач на усіх етапах життєвого циклу таких доліт, що дозволяє по новому, а саме, на основі єдиного процесного підходу розв'язувати комплекс проектних та конструкторсько-технологічних задач із створення і мобільного освоєння нових конкурентоспроможних конструкцій та типорозмірів доліт.

1. Розроблено ступенево-логічний аналіз, який відрізняється тим, що ґрунтується на оцінці зміни параметрів технічного стану деталей та елементів долота і дозволяє виявити найбільш імовірні причини відмови долота. Встановлено, що кореневими причинами відмов доліт є: невідповідність фізико-механічних властивостей матеріалів деталей та їх конструкцій вимогам експлуатації, недосконалість вирішення конструкторсько-технологічних задач проектування, конструювання і виготовлення деталей і долота в цілому.

2. Встановлено новий комплексний напрямок у принципах проектування, конструювання, виготовлення та експлуатації опор Р-К-Р. Він реалізує ефект підвищення контактної витривалості у водних середовищах, підвищення вантажності замкового підшипника та стабілізації руху роликів рядів, що попереджає заклинювання опор через раніше не вивчені явища руйнування тіл кочення, проковзування й перекошування роликів великого підшипника в ділянці переходу „навантажена сторона – ненавантажена сторона”. З цією метою розроблено нову конструкцію опори, що містить сепаратор із низьков'язкої модифікованої епоксидної діанової смоли з металевими наповнювачами у вигляді порошоків бронзи і титану, що твердне після заливки в опсру. Розроблена нова конструкція опори Р-К-Р зі збільшеною вантажністю замкового кулькового підшипника, яка впроваджена у виробництво на ВАТ „ДДЗ”. Розроблені рекомендації щодо підвищення контактної витривалості бігових доріжок формуванням сприятливого технологічного спадку точінням в розмір (впроваджені на ВАТ „ДДЗ”) і механоультразвукового зміцнення (впроваджені на ТзОВ СП „ІСМ”);
3. Встановлено новий комплексний напрямок у принципах проектування, конструювання, виготовлення та експлуатації опор Р-К-Р з осьовими підшипниками ковзання, який відрізняється тим, що ґрунтується на недопущенні ударів у осьовому напрямку опори встановленням зазору 0,01–0,02мм між спряженими поверхнями „п'ята-підп'ятник”, а також збільшенням несучої здатності і якісним покращенням стабілізації опори в осьовому напрямку. З цією метою розроблено нову конструкцію опори з наплавленою л'ятою та спосіб її виконання, що впроваджено у виробництво на ВАТ „ДДЗ”, а також розроблено новий напрямок у вдосконаленні конструкції опор доліт з торцевими підшипниками ковзання.
4. Розроблено новий комплекс заходів щодо підвищення якісних та експлуатаційних показників тришаршкових бурових доліт на усіх етапах їх створення і процесний підхід та критерії його реалізації у створенні таких доліт, який відрізняється тим, що на етапі комп'ютеризованого проектування і конструювання лапи і шарошки паралельно виконується проектування операцій технологічних обробок та застосуванням показників якості і спрощеною методикою встановлення найкращого варіанта процесу, а також забезпеченням комп'ютеризованої підтримки процесів життєвого циклу деталей і доліт в цілому, що дозволяє реалізовувати повну автоматизацію процесів у єдиному інформаційному середовищі. Для ефективної реалізації такого процесу розроблено структуру єдиної інформаційної системи реалізації процесу проектування, конструювання, підготовки виробництва і виготовлення деталей бурових доліт. Розробки впроваджені у виробництво на ВАТ „ДДЗ”.
5. Встановлено, що застосовуючи критерії конструкційної міцності, DI , $K_{IC}^{0.5}$ та оцінки стійкості до контактного руйнування, а також характеру руйнування прокату сталі при її рубанні можна ефективно підвищувати довговічність деталей доліт на усіх етапах їх створення. З цією метою вдосконалено стенд випробування доліт. Вирішено проблему економії долатної сталі шляхом електросталеплавильного переплавлення некратних заготовок, облою, бракованих деталей чи з відпрацьованих доліт, який впроваджений у виробництво на ВАТ „ДДЗ”. Розроблені рекомендації щодо підвищення контактної витривалості відкритих опор впроваджені у виробництво на

ТОВ „УНІБУРТЕХ”. Розроблені критерії для оцінки якості зміцнення та моделювання процесу ХТО шарошок з плавок долотних сталей, схильних до крихкого руйнування, які увійшли до нової редакції СТП 002156.031-2009 на ХТО деталей ВАТ „ДДЗ”.

6. Встановлено новий комплексний напрямок у принципах проектування, конструювання, виготовлення та експлуатації вставного породоруйнівного оснащення шарошок, який відрізняється регламентуванням градієнта твердості у тілі вінця шарошки, фізико-механічних показників спряжених поверхонь з'єднання „шарошка-зубок”, способом формоутворення отворів під вставки та новими конструкціями хвостовиків, параметрами пресування, а також спорядженням найбільш навантажених передпериферійних, периферійних рядів і вершину шарошки вставними зубками з підвищеними характеристиками міцності і тріщиностійкості. З цієї метою розроблено новий напрямок у комплексному підвищенні довговічності вставного породоруйнівного оснащення доліт на усіх етапах їх створення, який реалізовується у вдосконаленні процесів проектування з'єднання „шарошка-зубок”, формоутворення отворів, параметрів процесів складання, який впроваджений у виробництво на ВАТ „ДДЗ”. Розроблені параметри отримання композиційних зубків відцентровим литтям на основі сплаву Т15К6, який впроваджений у виробництво на ТзОВ СП „ІСМ”. Розроблені нові конструкції породоруйнівних вставок, що забезпечують не тільки необхідну жорсткість з'єднання „шарошка-зубок”, а й економію цінних твердих сплавів (впроваджені у виробництво на ВАТ „ДДЗ”);

7. Встановлено критерії підвищення довговічності тришарошкових доліт з опорами В, ВУ, АУ, що реалізують ефект створення сприятливих умов роботи підшипників, їх герметизації, підвищення конструкційної міцності та тріщино стійкості деталей. Для цього розроблено рекомендації щодо вдосконалення способу складання секційних доліт з метою усунення виникнення різновисотності, розроблено новий спосіб і конструкцію захисту від спрацювання долота по діаметру, розроблено нову конструкцію опори долота з плаваючою втулкою. Розробки щодо підвищення довговічності доліт з опорами АУ впроваджені на ТОВ „УНІБУРТЕХ”.

Отриманий сумарний економічний ефект від впровадження розробок дисертаційного дослідження становить більше 4 млн. 950 тис. грн.

ПУБЛІКАЦІ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Яким Р. С. Теорія і практика забезпечення якості та експлуатаційних показників цементованих деталей шарошкових бурових доліт: монографія / Р. С. Яким, Ю.Д.Петрина. – Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2011. – 189 с.
2. 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.
3. Петрина Ю. Д. Основи наукових досліджень для інженерів: навч. посіб. для вищих технічних закладів освіти / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким. – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 153с.

4. Петрина Ю. Д. Вплив механоультразвукового зміцнення на корозійно-втомну міцність деталей машин нафтогазової промисловості / Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – №3(16). – С.76–80.
5. Петрина Ю.Д. Підвищення довговічності шарошкових бурових доліт шляхом оптимізації конструкції роликвого підшипника / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2006. – №2 (14). – С.56–63.
6. Яким Р. С. Метод оцінки відпускнуї крихкості долотної сталі 37ХН3А / Р.С.Яким, Л. Г. Петрина, Т. Б. Пасинович // Методи та прилади контролю якості. – 2007. – № 18. – С.82–85.
7. Петрина Ю. Д. Підвищення надійності з'єднання „шарошка-зубок” в тришарошкових бурових долотах / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, Т. Б. Пасинович // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 2 (23). – С.67–69.
8. Петрина Ю.Д. Вплив фізико-механічних властивостей сталі шарошки на міцність з'єднання „шарошка-зубок” в тришарошкових бурових долотах / Ю. Д. Петрина, Р.С. Яким, Т. Б. Пасинович // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 3 (24). – С.73–78.
9. Петрина Ю. Удосконалення твердосплавного озброєння шарошкових бурових доліт / Ю. Петрина, Р. Яким // Машинознавство. – 2007. – №4 (118). – С.29–32.
- 10.Петрина Ю.Д. Підвищення точності та чистоти обробки отворів для посадки зубків в шарошці бурового долота / Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким, Т.Б.Пасинович // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2007. – Том 12. – №4. – С.92–101.
- 11.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.
- 12.Петрина Ю. Д. Вплив конструкторсько-технологічних параметрів на працездатність опор тришарошкових гірничорудних бурових доліт / Ю. Д. Петрина, Р.С.Яким, Т.Б.Пасинович // Нафтогазова енергетика – 2008. – № 1(6). – С.72–77.
- 13.Петрина Ю.Д. Вплив фізико-механічних властивостей сталі шарошки на точність формування отворів під посадку твердосплавних зубків / Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким, Т.Б. Пасинович // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наукових праць. – Краматорськ: Донбаська ДМА, – 2008. – № 1 (11). – С. 135-140.
- 14.Яким Р.С. Вплив технології складання секцій тришарошкових бурових доліт на їх якість / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина // Вестник Национального технического университета Украины „Киевский политехнический институт”. Машиностроение. – К.: КГУУ „КПИ”. – 2008. – Вып. 52. – С. 171-176
- 15.Аналіз працездатності опор Р-К-Р тришарошкових бурових доліт / Є.І.Крижанівський, Р. С.Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 2 (27). – С.25–34.
- 16.Вплив технологічного спадку на стійкість шарошкових бурових доліт / Є.І.Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // Машинознавство. – 2008. – № 5. – С.12–17.
- 17.Підвищення працездатності пари тертя „упорний торець бурта лапи – упорний торець шарошки” в тришарошкових бурових долотах для високообертового буріння

- / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 4(29). – С. 90–97.
18. Петрина Ю. Д. Теоретичні основи технологічного забезпечення довговічності відповідальних деталей обладнання нафтогазової промисловості / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, А. В. Швадчак // *Машинознавство*. – 2008. – № 12. – С. 32 – 36.
 19. Теоретичні основи обґрунтованого вибору критеріїв відмов і шляхів підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // *Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”*. *Машинобудування*. – К.: КТУУ „КПІ”. – 2009. – Вип. 56. – С. 6 – 13.
 20. Підвищення довговічності опор тришарошкових бурових доліт з осьовими підшипниками ковзання / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, Т. Б. Пасинович, Я. Р. Круглій // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – 2009. – № 3 (32). – С. 5 – 11.
 21. Підвищення стійкості опор тришарошкових бурових доліт / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // *Машинознавство*. – 2009. – № 8. – С. 28–32.
 22. Яким Р. С. Вдосконалення конструкції вставного твердосплавного оснащення тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, Т. Б. Пасинович // *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. – 2009. – № 4 (22). – С. 83 – 91.
 23. Конструкторсько-технологічне забезпечення контактної тривкості опор кочення тришарошкових бурових доліт / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // *Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”*. *Машинобудування*. – К.: КТУУ „КПІ”. – 2010. – Вип. 58. – С. 18 – 23.
 24. Яким Р. С. Дослідження якості механічного оброблення опорних поверхонь тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, Т. Б. Пасинович // *Вісник Севастопольського національного технічного університету: Машиноприладобудування та транспорт: зб. наукових праць* – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2010. – Вип. 107. – С. 234 – 237.
 25. Петрина Ю. Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищення якості лап тришарошкових бурових доліт на усіх етапах їх створення // Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, Т. Б. Пасинович // *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. – 2010. – Том 15. – № 1. – С. 81 – 93.
 26. Проектні та конструкторсько-технологічні заходи для забезпечення енергоощадності та якості при створенні тришарошкових бурових доліт / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // *Нафтогазова енергетика* – 2010. – № 1 (12). – С. 14–19.
 27. Підвищення ефективності буріння тришарошковими буровими долотами з відкритою опорою / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – 2010. – № 2 (35). – С. 17 – 22.
 28. Аналіз працездатності тришарошкових бурових доліт типу ОК з відкритою опорою / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и*

- технология его изготовления и применения: сборник научных трудов. – Выпуск 13. – К.: ИСМ им. В.Н.Бакуля, НАН Украины, 2010. – С. 74 – 77.
29. Контактне руйнування тіл кочення відкритих опор тришарошкових бурових доліт у водних середовищах / С. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2010. – Том 46. – № 5. – С. 37 – 42. (Springer Science + Business Media, Inc)
30. Підвищення тріщиностійкості шарошок тришарошкових бурових доліт / Р.С.Яким, Ю.Д. Петрина, Т. Б.Пасинович, А.Ю.Колодій // Машинознавство. – 2010. – № 1-2. – С.26 – 30.
31. Яким Р. С. Підвищення довговічності цапф лап тришарошкових бурових доліт / Р.С.Яким, Ю.Д. Петрина // Машинознавство. – 2010. – № 7 (157). – С. 13-18.
32. Яким Р. Підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт з опорами типу АУ / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – № 1 (38). – С. 24 – 31.
33. Критерії підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт з опорами типу ВУ / С. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2011. – № 1 (27). – С. 31 – 38.
34. Яким Р. С. Процесний підхід до формування якості тришарошкових бурових доліт на етапах їх життєвого циклу / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2011. – № 713. – С. 202 – 206.
35. Яким Р. С. Вплив експлуатаційних параметрів навантаження в роликівому підшипнику тришарошкового бурового долота на його роботу / Р. С. Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 1 (22). – С.38–43.
36. Яким Р. С. Вплив експлуатаційних параметрів навантаження в замковому підшипнику тришарошкового бурового долота на його довговічність / Р. С. Яким // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2007. – №1 (15). – С.67–72.
37. Яким Р. С. Оцінка працездатності тіл кочення опор тришарошкових бурових доліт за кінематичними параметрами / Р. С. Яким // Нафтогазова енергетика. – 2007. – № 4 (5). – С.94–97.
38. Яким Р. С. Основні засади вдосконалення конструкції вставного твердосплавного оснащення тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким // Нафтогазова енергетика. – 2011. – № 1 (14). – С.22–28.
39. Яким Р. С. Аналіз ефективності функціонування підшипників відкритих опор тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сборник научных трудов. – Выпуск 14. – К.: ИСМ им. В.Н.Бакуля, НАН Украины, 2011. – С. 129 – 134.
40. Яким Р.С. Працездатність і шляхи підвищення довговічності відкритих опор Р-К-Р тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2011. – № 3 (29). – С. 57 – 63.

41. Яким Р.С. Контактна витривалість цементованих поверхонь опор Р-К-Р тришаршкових бурових доліт / Р. С. Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – № 2 (39). – С. 106 – 112.
42. Петрина Ю. Д. Підвищення довговічності опор тришаршкових бурових доліт механоультразвуковим зміцненням / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2008. – Вип. 36. – С. 162–166.
43. Яким Р. С. Технологічне забезпечення стійкості тришаршкових бурових доліт / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, Т. Б.Пасинович // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – Вип. 38. – С. 263 – 267.
44. Яким Р. С. Формування якості та експлуатаційних показників тришаршкових бурових доліт на усіх етапах їх створення / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 42. – С. 309 – 314.
45. Пат. 38856 Україна, МПК E21B 10/46. Породоруйнівна вставка / Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким, Т.Б.Пасинович (Україна); заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № у 2008 09040; заявл. 10.10.08; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2.
46. Пат. 38858 Україна, МПК E21B 10/22, E21B 9/08 Опора бурового шарошкового долота. / Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким (Україна); заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № у 2008 09051; заявл. 10.07.08; опубл. 26.01.2009 Бюл. № 2.
47. Пат. 85941 МПК E21B 10/16, Зубок шарошки бурового долота. / Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким, Т.Б.Пасинович (Україна); заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а 2007 07134; заявл. 25.06.07; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5.
48. Пат. 92969 Україна, МПК E21B 10/46. Породоруйнівна вставка / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, Т.Б.Пасинович (Україна); заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а 2009 04677; заявл. 12.05.09; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24.
49. Пат. 94293 Україна, МПК E21B 10/22 (2006.01) Опора шарошкового бурового долота. / Є.І. Крижанівський, Р.С.Яким, Л.Є.Шмандровський, Ю.Д.Петрина, (Україна); заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а 2009 04722; заявл. 13.05.09; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8.
50. Пат. 95141 Україна, МПК E 21 В 10/08 (2006.01) Спосіб захисту шарошкового долота від спрацювання по діаметру. / Є.І.Крижанівський, Р.С.Яким, Л.Є.Шмандровський, Ю.Д.Петрина, (Україна); заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, – № а 2009 11721; заявл. 16.11.09. опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13.
51. Пат. 96644 Україна, МПК² E 21 В 10/10 (2011.01). Стенд для випробовувань секцій шарошкових доліт. / Є.І.Крижанівський, Р.С.Яким, Л.Є.Шмандровський, Ю.Д.Петрина, (Україна); заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № 2010000752 заявл. 26.01.10. опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.

- 52.Петрина Ю. Д. Вплив механоультразвукової обробки на опірність деталей нафтогазового обладнання корозійному розтріскуванню / Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким, А.В.Швадчак. // *Машиностроение и техносфера XXI века: сборник трудов XII международной научно-технической конференции.* (Севастополь 12-17 сентября 2005 г.) В 5-х томах, Т.3. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – С.57–61.
- 53.Петрина Ю. Д. Підвищення надійності з'єднання „шарошка-зубок” в трьохшарошкових бурових долотах / Ю. Д.Петрина, Р. С. Яким, Т.Б.Пасинович // *Машиностроение и техносфера XXI века: сборник трудов XIV международной научно-технической конференции.* (Севастополь 17-22 сентября 2007 г.) В 5-х томах, Т.3. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – С.168–172.
- 54.Яким Р. С. Запобігання крихкому руйнуванню цементованих шарошок бурових доліт / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, Ю.В.Павловський // *Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій: зб. наук. праць за матеріалами 4-тої міжнародної конференції (Львів, 23–27 черв.) / заг. ред. В.В.Панасюк.] / М-во освіти і науки України, Європейське тов. з цілісності конструкцій [та ін.]. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2009. – С. 989 – 998.*
- 55.Яким Р. С. Підвищення працездатності опор тришарошкових бурових доліт з осьовими підшипниками ковзання / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина // *Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування: праці Міжнародної науково-технічної конференції, 21-24 вересня 2009р.* Тернопіль (Україна) / Відповідальний редактор В. Т. Трощено. / НАН України і-т проблем міцності, М-во освіти і науки України Тернопільський державний технічний ун-т ім. Івана Пулюя. – Тернопіль: Тернопільський держ. техн. університет ім. І. Пулюя [та ін.]. 2009. – С. 336 – 341.
- 56.Яким Р.С. Аналіз працездатності опор Р-К-Р тришарошкових бурових доліт / Р.С.Яким // *Сучасні технології в промисловому виробництві: матеріали Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції: у трьох частинах. – Ч. II. / М-во освіти і науки України, Сумський держ. університет. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – С. 120 – 121.*
- 57.Яким Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення якості тришарошкових бурових доліт / Р. Яким, Ю. Петрина, І. Яким // *Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій: матеріали міжнародної науково-технічної конференції (Тернопіль 19 - 21 травня 2010 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. Академія наук України [та ін.]. – Тернопіль: ТНТУ, 2010. – С. 245 – 246.*
- 58.Працездатність полімерного сепаратора опор кочення тришарошкових бурових доліт / Р.Яким, Ю.Петрина, І.Яким, Ю.Павловський // *Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій: матеріали міжнародної науково-технічної конференції (Тернопіль 19 - 21 травня 2010 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. Академія наук України [та ін.]. – Тернопіль: ТНТУ, 2010. – С. 114 – 115.*
- 59.Яким Р. Підвищення тріщиностійкості шарошок бурових доліт / Р. Яким // *Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: праці 2-ї Міжнародної науково-технічної конференції (Львів 11-13 листопада 2010 р.) / Західний науковий центр НАН України, Фізико-механічний ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України [та ін.]. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, – 2010. –С.177-178.*

60. Підвищення довговічності важко навантажених деталей машин нафтогазової промисловості лазерним гартуванням / Р. Яким, Ю. Петрина, І. Яким, З. Одосій // Лазерні технології. Лазери та їх застосування: Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю: матеріали (Трускавець 21–24 червня 2011 р.) / Західний науковий центр НАН України і МОН України, Ін-т фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України, Фізико-механічний ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України [та ін.]. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2011. – С. 80 – 81.
61. Яким Р. Підвищення довговічності підшипника ковзання „упорний торець лапи - упорний торець шарошки” відкритої опори тришарошкових бурових доліт / Р.Яким, Ю. Петрина, І. Яким // Лазерні технології. Лазери та їх застосування: Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю: матеріали (Трускавець 21–24 червня 2011 р.) / Західний науковий центр НАН України і МОН України, Ін-т фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України, Фізико-механічний ін-т ім. Г.В.Карпенка НАН України [та ін.]. – Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького держ. педаг-го університету імені Івана Франка, 2011. – С.78 – 79.
62. Яким Р. Аналіз ефективності функціонування підшипників відкритих опор тришарошкових бурових доліт / Р.Яким // 10-тий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: праці. (Львів 25-27 травня 2011 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т „Львівська політехніка” [та ін.]. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2011. – С. 77 – 78.
63. Яким Р. Підвищення довговічності фрезерованого сталевого породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт / Р. Яким, Ю. Петрина, І. Яким // 10-тий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: праці. (Львів 25-27 травня 2011 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т „Львівська політехніка” [та ін.]. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2011. – С. 79 – 80.

АНОТАЦІЯ

Яким Р.С. Науково-прикладні засади підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – машини нафтової і газової промисловості. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2011.

Дисертацію присвячено вирішенню проблеми підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт на усіх етапах їх створення. Основна увага відведена підвищенню довговічності і ефективності елементів опор В, ВУ, АУ, цапф лап, шарошок, вставного породоруйнівного оснащення, захисту від спрацювання долота по діаметру. На основі комплексних експериментальних досліджень встановлено низку положень, що отримали практичне застосування у вітчизняному долотобудуванні. На основі розробленого ступенево-логічного аналізу, що дозволяє виявити найбільш імовірні причини відмови долота, розроблено комплексний напрямок у підвищенні довговічності таких доліт. Він включає розв’язання задач щодо встановлення відповідності фізико-механічних властивостей, тріщиностійкості, зносостійкості, контактної витри-

валості застосовуваних матеріалів деталей і їх зміцнень вимогам експлуатації; вдосконалення конструкції деталей і вузлів долота; якісного покращення процесів вирішення конструкторсько-технологічних задач проектування, конструювання і виготовлення деталей і долота в цілому. З цієї метою встановлено та апробовано критерії та розроблено низку нових способів і конструкцій захищених патентами, а також заходів щодо якісної реалізації процесів, застосування яких ефективно підвищує довговічність деталей доліт на усіх етапах їх створення.

Теоретичними і експериментальними дослідженнями отримано нове вирішення науково-технічної проблеми підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт, яке ґрунтується на результатах розв'язання комплексу науково-технічних задач на усіх етапах життєвого циклу таких доліт. Це дозволяє по новому, а саме, на основі єдиного процесного підходу розв'язувати комплекс проектних та конструкторсько-технологічних задач із створення і мобільного освоєння нових конкурентоспроможних конструкцій та типорозмірів доліт.

Ключові слова: тришарошкове бурове долото, довговічність, шарошка, лапа, опора, вставне породоруйнівне оснащення, тріщиностійкість, контактна витривалість.

АННОТАЦИЯ

Яким Р.С. Научно-прикладные основы повышения долговечности трехшарошечных буровых долот. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.12 – машины нефтяной и газовой промышленности. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2011.

Диссертацию посвящено решению проблемы повышения долговечности трехшарошечных буровых долот на всех этапах их создания. Основное внимание сосредоточено на повышении долговечности и эффективности: элементов опор В, ВУ, АУ, цапф лап, шарошек, вставного породоразрушающего вооружения, защиты от износа долота по диаметру.

На основе комплексных экспериментальных исследований установлено ряд положений, которые получили практическое применение в отечественном долотостроении. На основе разработанного ступенчато-логического анализа, который позволяет выявить наиболее вероятные причины отказов долота, разработано комплексное направление в повышении долговечности таких долот. Оно включает разрешение задач по: установлению соответствия физико-механических свойств, трещиностойкости, износостойкости, контактной выносливости использованных материалов деталей и их упрочнения требованиям эксплуатации; усовершенствования конструкции деталей и узлов долота соответственно требований эксплуатации; качественного улучшения процессов решения конструкторско-технологических задач проектирования, конструирования и изготовления деталей и долота в целом. С этой целью установлено и опробовано критерии, а также разработано ряд новых способов и конструкций защищенных патентами, мероприятий по повышению качественной реализации процессов, применение которых эффективно подвывает долговечность деталей долот на всех этапах их создания. Так установлены и внедрены в производство новые комплексные направления в

принципах проектирования, конструирования, изготовлении и эксплуатации опор Р-Ш-Р, в том числе с осевыми подшипниками скольжения, а также вставного породоразрушающего вооружения шарошек. Разработан процессный подход и критерии его реализации посредством того, что на этапе компьютеризованного проектирования и конструирования лапы и шарошки параллельно выполняется проектирование операций технологических обработок, что позволяет реализовать полную автоматизацию процессов в одной информационной среде. Установлено, что используя критерии: конструкционной прочности, DI , K_{1c}^{pc} и оценки стойкости к контактному разрушению, а также характеру разрушения проката стали, можно эффективно подышать долговечность деталей долот на всех этапах их создания. Также установлены и экспериментально обоснованы критерии повышения долговечности трехшарошечных долот с опорами В, ВУ, АУ, что реализовывают эффект создания наилучших условий работы подшипников, повышения конструктивной прочности и трещиностойкости деталей.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями получено новое решение научно-технической проблемы повышения долговечности трехшарошечных буровых долот, которое основывается на результатах решения комплекса научно-технических задач на всех этапах жизненного цикла таких долот. Это позволяет по новому, а точнее, на основе единого процессного подхода решать комплекс проектных и конструкторско-технологических задач по созданию и мобильному освоению новых конкурентных конструкций и типоразмеров долот.

Ключевые слова: трехшарошечное буровое долото, долговечность, шарошка, лапа, опора, вставное породоразрушающее вооружение, трещиностойкость, контактная выносливость.

ANNOTATION

Yakym R.S. Scientific - applied principles of three-cone rock bits durability increase. – on rights for a manuscript.

Thesis for a doctor's degree on technical sciences on the speciality 05.05.12 – Equipment for Oil and Gas Industry. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2011.

The thesis is devoted to the problem connected with the durability increase of three-cone rock bits at all manufacturing stages. Much attention is paid to the durability and efficiency increase of V, VU, AU, bearing components, arm pins, cones, and insert rock-destroying equipment, and to the protection of rock bits against wear-and-tear across diameter.

On the basis of complex experimental tests some propositions were determined. These propositions got practical application in domestic rock bit construction. Complex trend on the durability increase of rock bits is worked out on the ground of developed stepwise and logical analysis, which helps to establish the most authentic reason of rock bit failure. This trend includes the solving of problems connected with finding out of optimum physicomaterial properties, crack-resistance, hardness, contact endurance of used

materials of components and their strengthening in accordance with operation standards; construction improvement of rock bits parts and units according to operation standards; qualitative solving of design and technological problems connected with design, engineering and manufacturing of rock bits and their parts. With this aim it is determined and tested criteria, some new methods and constructions protected by patents, and also measures directed at increase of qualitative realization of processes, which effectively prolong the rock bit parts durability at all stages of their manufacturing.

Owing to theoretical and experimental investigations the search-engineering problems of three-cone rock bits durability increase are solved in a new way. At means that it is necessary to base on the results of complex search-engineering problems solving at all stages of rock bits life cycle. At allows to solve complex of design and technological problems connected with manufacturing and mobile mastering of new competitive constructions and standard sizes of rock bits relying on the unified process approach.

Key words: three-cone rock bits, durability, cone, arm, bearing, insert rock-destroying equipment, crack-resistance, contact endurance.