

## ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ТА КРИТЕРІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ ДЛЯ БУРІННЯ ОСОБЛИВО МІЦНИХ ПОРІД

Р.С. Яким

Дрогобицький державний педагогічний університет ім. Івана Франка,  
82100, м. Дрогобич, вул. І.Франка, 24, тел. 0679070484, e-mail: Jakym.r@online.ua

Дослідження має на меті вирішення проблеми побудови критеріїв підвищення якості тришарошкових бурових доліт із твердосплавним вставним породоруйнівним оснащенням. Дослідження проводились на базі реального виробництва бурових доліт, за умов математичного планування експериментів, комплексним застосуванням експериментальних лабораторних та натурних випробовувань. Досліджено характер взаємозв'язків між підконтрольними чинниками (фізико-механічні, технологічні, експлуатаційні властивості матеріалів долота; рівень досконалості конструкції долота; рівень досконалості технології виготовлення долота) та відмовами з позиції параметрів технічного стану елементів долота. Обґрунтовано ефективність застосування ступенево-логічних моделей для ефективного виявлення причин відмов доліт та розробки шляхів підвищення якості бурових доліт. Вдосконалено формалізоване представлення критеріїв, а саме умови для мінімального шляху та мінімального перерізу у ступенево-логічних моделях відмов доліт. Застосування такого підходу дозволяє мінімізувати час на прийняття об'єктивних і правильних рішень на стадіях проектування, конструювання та виготовлення бурових доліт, що загалом підвищує їх надійність.

Ключові слова: ступенево-логічна модель, відмова, мінімальний шлях, мінімальний переріз, конструкція, матеріали, технологія виготовлення долота.

Целью исследования есть решение проблемы построения критериев повышения качества трехшарошечных буровых долот с твердосплавным вставным породоразрушающим вооружением. Исследования осуществляли на базе реального производства буровых долот, при математическом планировании экспериментов, комплексным использованием экспериментальных лабораторных и натурных испытаний. Исследован характер взаимосвязей между подконтрольными факторами (физико-механическими, технологическими, эксплуатационными свойствами материалов долота; уровень совершенства технологии изготовления долота) и отказами с позиции параметров технического состояния элементов долота. Обосновано эффективность использования ступенчато-логических моделей для эффективного выявления причин отказов долот и разработки путей повышения качества буровых долот. Совершенствовано формальное представление критериев, в частности условия для минимального пути и минимального сечения в ступенчато-логических моделях отказов долот. Использование такого подхода позволяет минимизировать время на принятие объективных и правильных решений на стадиях проектирования, конструирования и изготовления буровых долот, что в целом повышает их надежность.

Ключевые слова: ступенчато-логическая модель, отказ, минимальный путь, минимальное сечение, конструкция, материалы, технология изготовления долота.

The aim of the study is to solve the problem of criteria construction for improvement of quality of three-cone rock bits with hard-alloyed inserted rock-destruction equipment. The research was carried out in the conditions of rock bits real production with the mathematical planning of experiments, complex usage of experimental laboratories and full-scale tests. The nature of interconnection between such monitored factors as physical and mechanical, technological, operating properties of rock bit materials; standard of rock bit design perfection; standard of rock bit manufacturing method perfection, and failures from a position of technical state parameters of rock bit components is investigated. The efficiency of stepped and logical models usage for effective establishment of reasons of rock bits failure and the development of ways of rock bits quality improvement is proved. Formal criteria representation, which is the conditions for the minimum path and minimum section in the stepped and logical models of rock bits failures, is improved. Using such approach allows minimizing the time for making objective and right decisions at the stages of designing, engineering and manufacturing of rock bits that in general increase their reliability.

Keywords: stepped and logical model, failure, minimum path, minimum section, construction, rock bit manufacturing method.

Для буріння особливо міцних порід масово застосовують тришарошкові бурові долота в яких шарошки оснащені вставними твердосплавними зубками. Важкі умови роботи таких бурових доліт висувають жорсткі вимоги до їх якості та надійності. Передчасна втрата працездатного стану долота на вибої веде до суттєвих втрат часу та ресурсів при бурових роботах, а раптова відмова може спричинити серйозну аварію. Тому оцінка надійності та побудова

ефективних критеріїв підвищення якості тришарошкових бурових доліт є актуальною проблемою, що має важливе практичне значення.

За останні роки розв'язанню окресленої проблеми приділено багато уваги в [1-6] та ін. Зокрема, в [1] запропонована ступенево-логічна модель виникнення відмов тришарошкових бурових доліт з твердосплавним породоруйнівним вставним оснащенням. Запропоновано критерій мінімізації мінімальних перерізів для

вибору шляхів підвищення довговічності бурових доліт. Тим не менше, дана методика потребує конкретизації стосовно формального представлення критеріїв, а саме мінімального шляху та мінімального перерізу.

Високі показники якості тришарошкових бурових доліт отримано при апробації та впровадженні розробленого в [2-4] системного підходу до забезпечення якості й економії матеріалів на основних етапах життєвого циклу доліт. Подальшим кроком вдосконалення комплексного підходу в підвищенні якості тришарошкових бурових доліт було розроблення структури єдиної інформаційної системи підтримки процесів створення доліт [5]. Ця система дозволила об'єднати усі процеси, починаючи від проектування, підготовки виробництва і виготовлення доліт, а також системи комплексного підвищення якості доліт на довиробничому та виробничому етапах життєвого циклу тришарошкових бурових доліт. Це дозволило в комплексі вирішити низку проблем які виникають на етапах створення доліт. Зокрема, при проектуванні нових конструкцій доліт створюються умови максимального врахування ненормованих чинників та підвищення рівня якості вирішення конструкторсько-технологічних задач.

Відомі також запропоновані в [6] математичні моделі, що можуть слугувати базою для розробки теоретичної бази для узгодження процесів проектування і виготовлення тришарошкових бурових доліт з урахуванням особливостей їх експлуатації. Тим не менше, долотне виробництво вимагає більш конкретизованих моделей, які можна було б легко застосувати чи інтегрувати у систему управління процесами.

Загалом, аналізом існуючих джерел з окресленої проблеми, а також оцінки рівня сучасної техніки і технології створення тришарошкових бурових доліт виявлено відсутність чітких підходів у формулюванні комплексних вимог до параметрів технологічних систем, що визначають надійність таких доліт. Це спричинює низку проблем у об'єктивному і правильному прийнятті рішень на стадіях проектування, конструювання та виготовлення бурових доліт.

З метою заповнення виявлених прогалин поставлено задачу здійснити аналіз характерних відмов шарошкових доліт, а також вдосконалити ступенево-логічний аналіз, що дозволило би дослідити характер взаємозв'язків між підконтрольними чинниками (фізико-механічні, технологічні, експлуатаційні властивості матеріалів долота; рівень досконалості конструкції долота; рівень досконалості технології виготовлення долота) та відмовами з позиції параметрів технічного стану елементів долота. Крім цього необхідно конкретизувати вимоги до розв'язування конструкторсько-технологічних задач зі створення доліт, а також розробити чітку схему для формулювання вимог щодо параметрів технологічних систем які визначають надійність бурових доліт.

Дослідження проводились в умовах реального виробництва бурових доліт, за умов мате-

матичного планування експериментів, комплексним застосуванням експериментальних лабораторних та натурних випробовувань. Для цього використано потужності дослідних лабораторій, стендового устаткування та центральної заводської лабораторії ТзОВ „УніБурТех”.

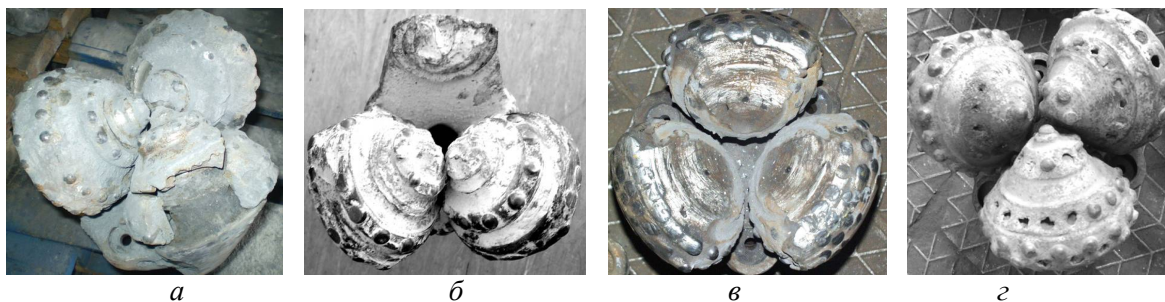
На етапі проектування бурових доліт використовується інформація про експлуатаційні показники отримані з даних напрацювання аналогічних конструкцій в реальних чи стендових умовах буріння. Також із статистики відмов деталей доліт, через які долото втратило працездатність можна оцінити імовірність виникнення аналогічних ситуацій із запроєктованим долотом.

Зокрема, можна виділити декілька характерних і найбільш поширених пошкоджень через які долото виходить з ладу (рис. 1). Такі пошкодження отримані долотом у перші години роботи на вибої ведуть до неприпустимих економічних збитків та ускладнень бурових робіт. Особливо небезпечними серед пошкоджень є втрата фрагментів шарошки, тіл кочення (рис. 1, а) чи цілої секції (рис. 1, б). Це веде до аварійних робіт і вимагає видалення з вибою фрагментів металу. Заклинювання опор спричинює до зупинення обертання шарошок (рис. 1, в). При цьому прохід долота зупиняється, а шарошки інтенсивно стираються об вибій. Не менш небезпечним є руйнування вставного породоруйнівного оснащення шарошок (рис. 1, г). При цьому прохід долота різко знижується і швидкість буріння падає. Також небезпеку становить твердий сплав, який накопичується на вибої.

Загалом, аналізом пошкоджень елементів тришарошкових бурових доліт призначених для буріння особливо міцних гірських порід виявлено, що проблема підвищення їх довговічності вимагає комплексного розв'язання низки задач з підвищення довговічності усіх деталей і вузлів (рис. 2).

Якісна оцінка тришарошкових доліт, як і будь-якого складного і відповідального виробу, здійснюється через призму комплексної множини параметрів якості з оцінки характеристик процесів на різних етапах створення доліт, які задовольняють вимоги діючих стандартів та технічних умов, договорів [7-9]. Оскільки всі елементи долота працюють у вкрай важких умовах, то якість долота повинна гарантувати задану безвідмовність роботи. Тому якість окремих елементів конструкції, деталей долота визначає якісні показники цілого долота.

Відомо, що одним з основних пунктів у встановленні довговічності тришарошкового бурового долота, як і іншого технічного об'єкту, є питання формулювання поняття відмови. При цьому суттєвим є встановлення тих елементів і вузлів, відмова яких спричинює повну чи часткову втрату працездатності долота. Для цього необхідно встановити причини відмов та взаємозв'язок між найбільш імовірною причиною відмови та імовірним наслідком, що спричинив вихід із ладу долота.



*а* – розколювання тіла шарошки, *б* – відламування цапфи лапи,  
*в* – заклинювання опор і зупинення обертання шарошок,

*г* – розколювання, зношування, випадання вставного породоруйнівного оснащення шарошок

**Рисунок 1** – Найбільш поширені пошкодження, що спричинюють передчасний вихід з ладу тришарошкових бурових доліт призначених для буріння особливо міцних гірських порід



**Рисунок 2** – Структура реалізації комплексного підходу у підвищенні довговічності тришарошкових бурових доліт призначених для буріння особливо міцних гірських порід

Імовірність виникнення відмови  $i$ -того елемента долота можна представити імовірністю технічного стану елемента системи [1].

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

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

Тоді для системи елементів долота можна ввести структурну функцію  $\varphi(x)$ , яка є двійковою випадковою величиною із розподілом імовірності, що визначається сумісним розподілом імовірностей величин  $X_1, X_2, \dots, X_n$ :

$$p_s = P[\varphi(X) = 1] = E\varphi(X).$$

Оскільки базові події, що спричиняють конкретний стан елемента системи, є незалежними, сумісний розподіл імовірностей величин  $X_1, X_2, \dots, X_n$  визначиться значеннями  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , тоді функція надійності долота як системи, в якій стаються визначені події, буде мати вигляд

$$p_s = p_s(p),$$

при цьому

$$p = (p_1, p_2, \dots, p_n).$$

Формально деталі і елементи долота можуть знаходитись у двох станах: подія (відмова) сталась, чи немає події (відмови) [1]:

$$p_s(0) = E[\varphi(X) | p_1 = 0, \dots, p_n = 0] = \varphi(0) = 0,$$

$$p_s(1) = E[\varphi(X) | p_1 = 1, \dots, p_n = 1] = \varphi(1) = 1.$$

Тоді можна описати аналіз відмов, які реалізуються в умовах експлуатації, за допомогою ступеневих логіко-імітаційних моделей. Побудова дерев відмов і їх аналіз дає можливість виявити імовірні шляхи, які ведуть до відмови долота.

Маючи за основу викладки подані в [10], побудовано низку структурно-логічних модулів які входять в цільну модель, що описує взаємозв'язок між базовими, початковими чинниками, що контролюються та відмовою бурових тришарошкових доліт з твердосплавним вставним оснащенням, відкритою опорою Р-К-Р осьовими підшипниками ковзання [1].

Згідно даних відпрацювання тришарошкових бурових доліт та результатів досліджень висвітлених в [2, 11], виділяються чинники, що є істотними для виникнення послідовності відмов у єдиній моделі структури відмови долота [1, 4]:

– вибір матеріалів долота згідно фізико-механічних, технологічних, експлуатаційних показників (теплостійкість, міцність, зносостійкість відповідальних елементів долота, спосіб зміцнення тощо);

– рівень досконалості конструкції долота (ефективність системи мащення і промивання, захисного оснащення, надійність кріплення вставного оснащення, досконалість конструкції породоруйнівного оснащення, підшипників опори, лапи, шарошки тощо);

– рівень досконалості технології виготовлення долота та вирішення конструкторсько-технологічних задач (функціонально орієнтована технологія виготовлення еталей долота, впровадження високоточного устаткування для забезпечення процесів на етапах створення доліт, інтегроване інформаційне забезпечення процесів тощо).

Отже, згідно розробленого підходу відмова долота є причиною логічної послідовності найімовірніших подій [1]: вихід з ладу вставного твердосплавного оснащення; руйнування тіла шарошки; вихід з ладу опори; вихід з ладу системи очищення долота; злом лапи долота; руйнування захисного оснащення козирка спинки лапи. Відповідно, критерієм відмови долота будуть виступати мінімальні перерізи в моделі відмов. Ці мінімальні перерізи є мінімальною множиною варіантів послідовностей логічних подій, що ведуть до кінцевого результату – відмови тришарошкового бурового долота.

Наприклад, розглянемо поданий на рис. 3 ступенево-логічний модуль виходу з ладу долота через відмову опори. Цей модуль має найбільшу множину причинно-наслідкових послідовностей, що ведуть до відмови долота. Тут базовими підконтрольними найбільш імовірними чинниками є ті, що поміщені в колах. Одним із варіантів можуть бути такі базові причини, які ведуть до відмови опори (рис. 3):

- 1) недосконалість технології виготовлення захисту від спрацювання козирка спинки лапи;
- 2) недосконалість конструкції захисту від спрацювання козирка спинки лапи;
- 3) фізико-механічні властивості матеріалів захисту від спрацювання козирка спинки лапи не забезпечують зносостійкість.

Базовими подіями чи чинниками є [1]: властивості матеріалів у стані поставки та конструкційні параметри, що вибираються при проектуванні, конструюванні, а також множина технологічних чинників, що слугує базою для проектування технологічних процесів, підготовки виробництва й виготовлення.

Для призначення значення імовірності ( $P$ ) цих подій ( $A$ ) можна скористуватися відомим способом:

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{x}{n},$$

де  $x$  – число випадків виникнення подій  $A$ , що відбулися з числа  $n$ , повторених дослідів.

На рис. 3 прямокутниками позначено проміжні найімовірніші логічні стани. Для зручності та компактності побудов модулів, а також для застосування тиражування логічних станів ромбами обведено базові стани, для яких існують окремі модулі. Інколи базові стани позначені ромбами можуть рахуватися як окремі причини відмови долота, наприклад як розколювання тіла шарошки чи руйнування буртів опори.

Для кожного стану долота, як системи  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  можна виділити дві підмножини:  $A = \{i : x_i = 1\}$ ,  $B = \{i : x_i = 0\}$ .

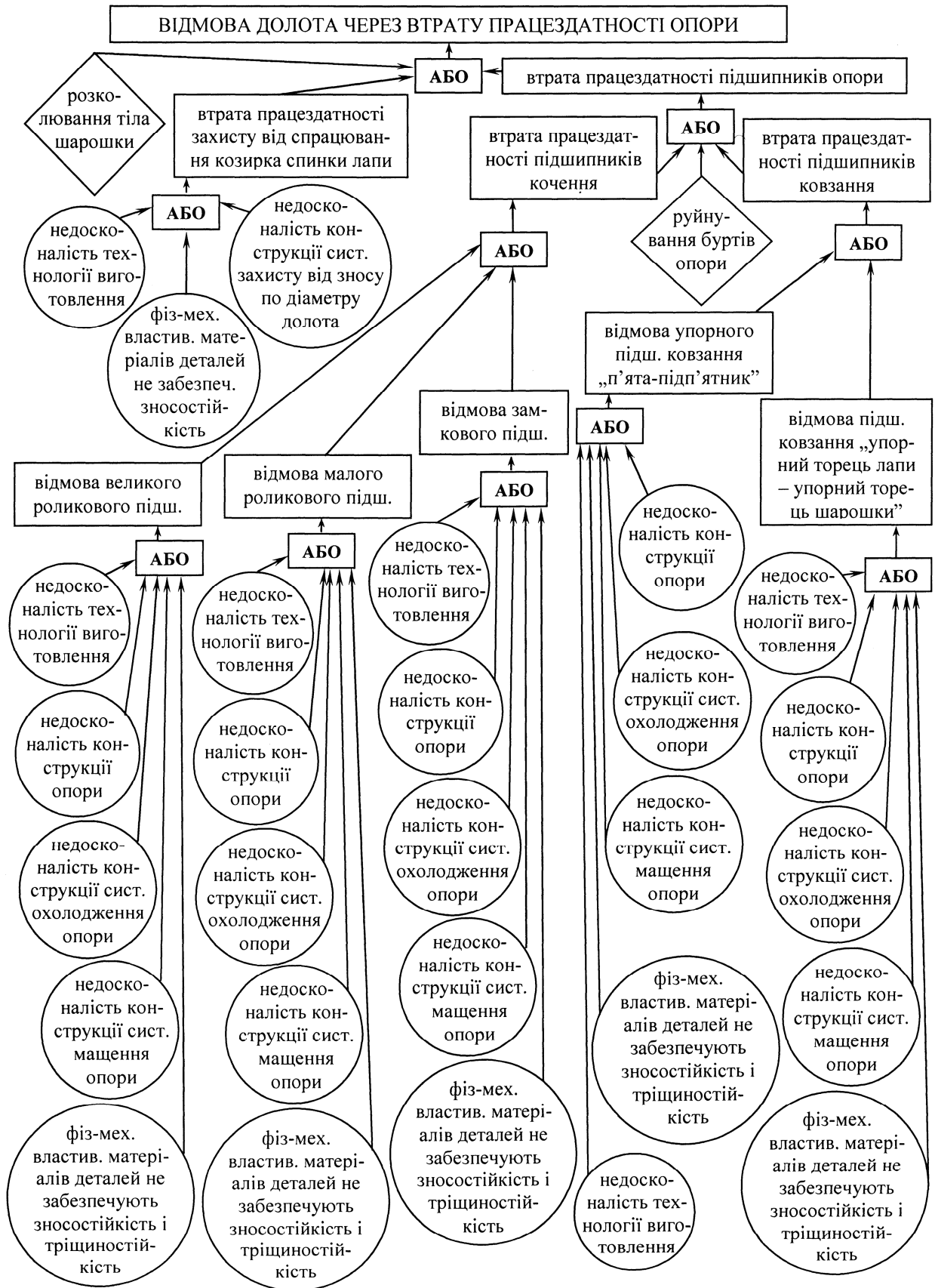


Рисунок 3 – Ступенево-логічний модуль відмов відкритої опори долота тришарошкового бурового долота

Якщо  $f(x)=1$  і  $f(y)=0$  для довільного  $y \leq x$ , але не тотожно рівного  $x$ , то  $A$  є мінімальний шлях у дереві відмов тришарошкового бурового долота.

Якщо  $f(x)=0$  і  $f(y)=1$  для довільного  $y \geq x$ , але не тотожно рівного  $x$ , то  $B$  є мінімальний переріз у дереві відмов тришарошкового бурового долота.

Мінімальний шлях є мінімально можлива множина елементів, які забезпечують нормальне функціонування долота.

Мінімальний переріз – це мінімальна множина елементів тришарошкового бурового долота, відмова яких веде до відмови цілого долота.

Розмір мінімального шляху (мінімального перерізу) визначається числом елементів, які належать цьому шляху (перерізу) у дереві відмов. З кожним мінімальним шляхом  $A_j$  (де  $j=1, 2, \dots, \kappa$ ), можна зв'язати двійкову функцію

$$\delta_j(x) = \prod_{i \in A_j} x_i.$$

Ця функція приймає значення 1, якщо всі елементи в мініальному шляху нормально функціонують, і 0 коли навпаки. Відтак функція  $\delta_j$  описує структуру системи у якій всі елементи, які належать  $j$ -му мініальному шляху, з'єднані послідовно. Аналогічним чином, для кожного мінімального перерізу  $B_\varepsilon$  (де  $\varepsilon=1, 2, \dots, \lambda$ ), можна взяти двійкову функцію

$$\theta_\varepsilon(x) = 1 - \prod_{i \in B_\varepsilon} (1 - x_i).$$

Дана функція приймає значення 0, якщо всі елементи в мініальному шляху несправні і 1 коли навпаки. Тобто, функція  $\theta_\varepsilon$  описує структуру системи у якій всі елементи, які належать  $\varepsilon$ -му мініальному перерізу, з'єднані паралельно.

Мінімальні (небезпечні) перерізи у деревах відмов доліт є тільки такі, які є ланцюгами послідовності найбільш імовірних відмов. Наприклад у розглядуваному випадку, що ілюструється на рис. 3 такими послідовностями можуть бути:

1) фізико-механічні властивості матеріалів деталей великого роликowego підшипника кочення не забезпечують зносостійкість і тріщиностійкість → відмова великого роликowego підшипника кочення → втрата працездатності підшипників кочення → втрата працездатності підшипників опори → відмова долота;

2) недосконалість конструкції системи мащення опори → відмова великого роликowego підшипника кочення → втрата працездатності підшипників кочення → втрата працездатності підшипників опори → відмова долота;

3) недосконалість конструкції системи охолодження опори → відмова великого роликowego підшипника кочення → втрата праце-

здатності підшипників кочення → втрата працездатності підшипників опори → відмова долота;

4) недосконалість конструкції опори → відмова великого роликowego підшипника кочення → втрата працездатності підшипників кочення → втрата працездатності підшипників опори → відмова долота;

5) недосконалість технології виготовлення опори → відмова великого роликowego підшипника кочення → втрата працездатності підшипників кочення → втрата працездатності підшипників опори → відмова долота.

Генерація подібних логічних послідовностей дає усесторонній аналіз причин відмов та їх способів усунення.

Небезпечний переріз дерева відмов може мати два кроки в дереві відмов і більше. Однак аналіз починається із тих послідовностей які мають найменшу кількість кроків.

Зауважимо, що спочатку аналізують ті послідовності подій де зафіксовані найвищі значення імовірності відмов.

Аналізом встановлено, що у всіх випадках в моделях відмов елементів долота базовими подіями виступають три основні чинники: вихідні властивості матеріалу та параметри конструкції, що задаються на стадії проектування та конструювання, а також технологічні чинники, які формуються на стадіях проектування і реалізації технологічних процесів виготовлення.

Отже, ступенево-логічний аналіз виходу з ладу шарошковых доліт дає можливість виявити взаємозв'язок між підконтрольними чинниками та відмовами з позиції параметрів технічного стану елементів долота. Використовуючи критерій мінімізації мінімальних перерізів можна формулювати відповідні вимоги до якості всіх засобів і заходів на всіх етапах створення бурових доліт, що сприяє підвищенню їх надійності.

Якість тришарошковых бурових доліт визначається усіма процесами його створення, починаючи з проектування [2-5]. Водночас, між якістю виконання технологічних операцій виготовлення деталей доліт й складання долота та експлуатаційними показниками долота є кореляційний зв'язок [12]. Тож важливим етапом формування заданого рівня якості тришарошковых бурових доліт є стадії технологічного процесу їх виготовлення. Тому важливим є оцінювання якості виробництва заготовок; чорнового і напівчорнового механічного оброблення різанням; хіміко-термічної обробки; викінчування механічного оброблення; складальних операцій вузлів і долота в цілому. Для цього необхідний обґрунтований вибір, як самих процесів так і обладнання для їх здійснення, а також комплекс заходів щодо поліпшення якості долота як кінцевого продукту долотного виробництва. Невід'ємною складовою такого вибору є комплексне врахування спеціально розроблених груп чинників [2-5] які включають оцінку експлуатаційних властивостей деталей долота, технічну спроможність реалізації даним виробництвом заданого рівня задач та економічну

оцінку доцільності нововведень. За таких умов можлива найбільш об'єктивна оцінка ефективності та конкурентоспроможності тришарошкових бурових доліт.

Виробництво деталей тришарошкових бурових доліт є багатоетапним технологічним процесом модифікації вихідних якостей заготовок у кінцеві експлуатаційні характеристики готових доліт. Така зміна властивостей і параметрів заготовок здійснюється в складі технологічних систем, до структури яких входять об'єкти модифікації (заготовки) і елементи, які здійснюють задану зміну властивостей технологічного процесу (інструмент, оснащення тощо) [2]. У свою чергу, кожна з деталей та їх поєднання мають визначене функціональне призначення. Оскільки функціональність окремих деталей долота визначають функціональність цілого долота, то всі характеристики і показники елементів долота повинні бути узгоджені відповідно до високого рівня якості.

Оскільки низка якісних показників деталей змінюється в процесі їх експлуатації споживачем, то таку якість необхідно розглядати як основу для початкових умов, для встановлення нових критеріїв якості [2]. Крім того, для повної інформації про умови відпрацювання доліт на базі долотного виробництва облаштовують дослідні станції з випробовування бурових доліт, створюють спільні із споживачами комісії щодо оцінки якості роботи доліт та ін. Інформація про сукупність експлуатаційних якостей поступає від споживача на долотне виробництво на основі чого створюються технічні вимоги до бурових доліт. При цьому конкретизація цілей виробництва деталей ускладнюється тим, що навіть долота однієї партії можуть експлуатуватися у різних умовах, відповідно формувати різні вимоги до показників якості. За таких умов, для забезпечення споживача долотами заданої якості, спадкові властивості доліт на кожному з етапів виробництва і експлуатації повинні бути узгоджені. Вони визначають ієрархію сукупності цілей і обмежень, а також номенклатуру показників для виготовлення бурових доліт [9]. Тому проектування технологічних процесів (ТП) доліт повинно ґрунтуватися на використанні максимально допустимого об'єму інформації про конкретні ТП виготовлення деталей та технології складання, умовах їх проведення і якісних вимог, що висуваються до їх результатів [2].

До основних параметрів ТП виготовлення бурових доліт відносять такі параметри ТП виготовлення лап, шарошок та інших складових деталей долота, які визначають експлуатаційні показники доліт і їх надійність. До них можна віднести:

- якість вихідних матеріалів;
- якість комплектуючих та покупних деталей;
- точність виконання кінцевих та складальних операцій при виготовленні лап, шарошок та долота у зібраному стані (формування нипельної частини долота);

– методи та засоби контролю якості що застосовуються при виготовленні доліт;

– точність, стабільність технологічних процесів механічного оброблення, термообробок та ін.

Вибір основних параметрів технологічних процесів що визначають якість та надійність тришарошкових бурових доліт (що визначають параметри ТП) здійснюють для:

– обґрунтування їх допустимих значень, виходячи із умов забезпечення заданої надійності і якості тришарошкового бурового долота;

– коригування системи контролю якості усіх процесів підготовки виробництва та виготовлення тришарошкових бурових доліт;

– вдосконалення технологічних процесів виготовлення бурових доліт;

– уточнення вимог до покупних деталей і матеріалів які необхідні для налагодження якісного виготовлення тришарошкових бурових доліт;

Встановлення параметрів ТП які визначають якість долота здійснюється на основі даних відпрацювання типових конструкцій доліт, або дослідних зразків у стендових та натурних умовах буріння. Це ефективно здійснювати на основі аналізу ступенево-логічної моделі відмов долота та за схемою, що подана на рис. 4. При цьому в результаті аналізу причин відмов попередньо визначаються вихідні параметри ТП виготовлення лап, шарошок та складальних одиниць (тіла кочення, втулки і шайби підп'ятників ковзання, п'яти, підп'ятники, твердосплавні вставки, деталі системи герметизації та ін.), порушення яких потенційно може спричинити втрату працездатності, відмову тришарошкового бурового долота.

Отже розроблений комплексний підхід, що включає ступенево-логічний аналіз для виявлення причин відмов долота за змінами параметрів технічного стану деталей і елементів долота, а також метод виявлення параметрів елементів технологічної системи. З цією метою обґрунтовано важливість:

– правильного вибору матеріалів за їх фізико-механічними властивостями, їх зміцнення до заданих експлуатаційних показників;

– забезпечення якісного рівня виконання процесів рішення конструкторсько-технологічних задач на етапах створення і виготовлення доліт;

– забезпечення якісного рівня і ефективності та досконалості конструкції доліт.

Це дозволяє системно підходити до вирішення проблеми забезпечення надійності та високої якості тришарошкових бурових доліт.

**Висновки.** У результаті досліджено характер пошкодження та основні причини низької довговічності елементів тришарошкових бурових доліт призначених для розбурювання особливо міцних гірських порід. Запропоновано структуру реалізації комплексного підходу у підвищенні довговічності таких доліт, а також схему виявлення параметрів елементів технологічної системи, які визначають якісні по-

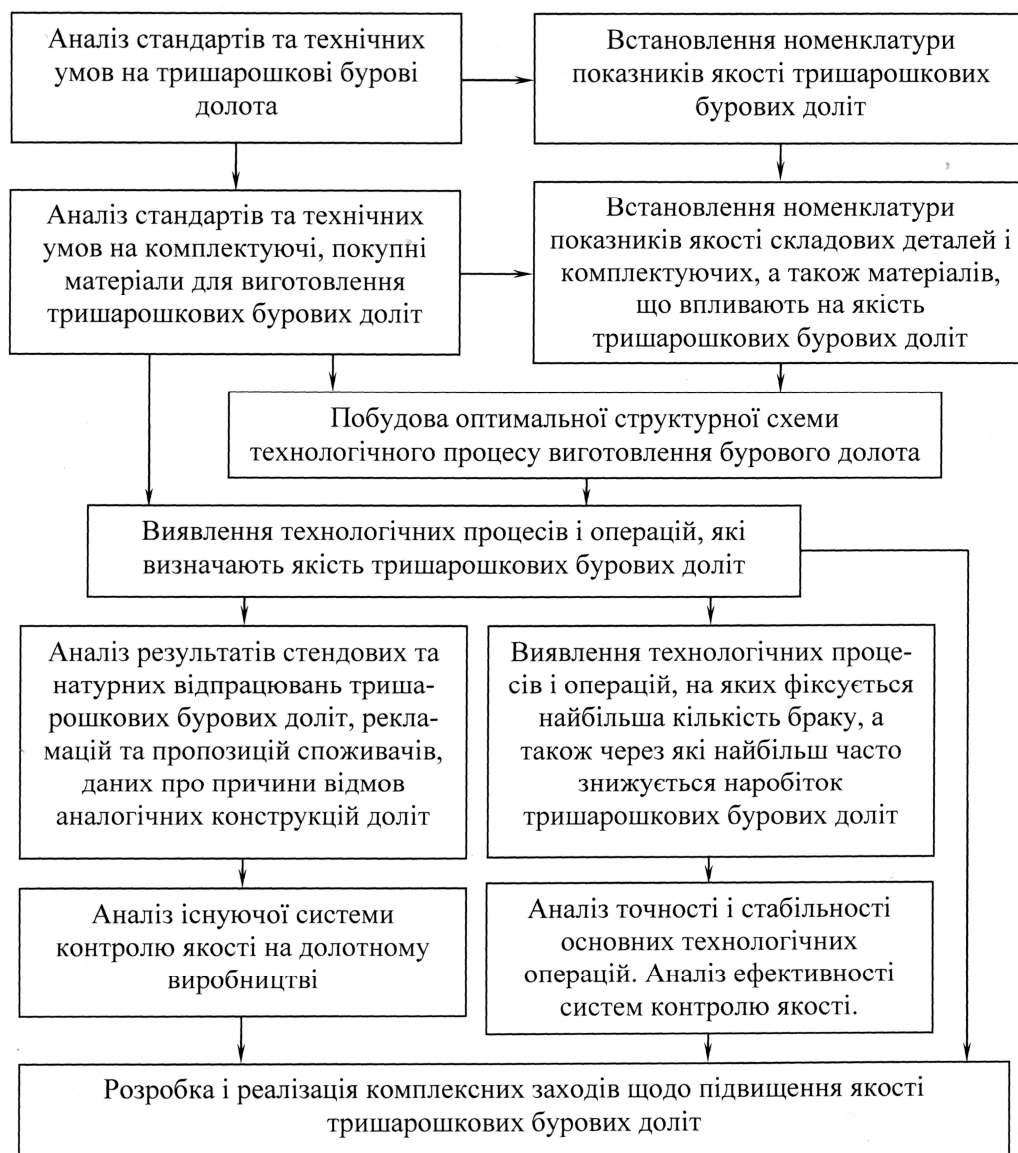


Рисунок 4 – Схема виявлення параметрів елементів технологічної системи, які визначають якісні показники тришарошкових бурових доліт

казники тришарошкових бурових доліт. Застосовуючи ступенево-логічний аналіз для виявлення причин відмов долота досліджено характер взаємозв'язків між підконтрольними чинниками (фізико-механічні, технологічні, експлуатаційні властивості матеріалів долота; рівень досконалості конструкції долота; рівень досконалості технології виготовлення долота) та відмовами з позиції параметрів технічного стану елементів долота. Обґрунтовано ефективність застосування ступенево-логічних моделей для ефективного виявлення причин відмов доліт та розробки шляхів підвищення якості бурових доліт. Вдосконалено формалізоване представлення критеріїв, а саме умови для мінімального шляху та мінімального перерізу у ступенево-логічних моделях відмов доліт. Застосування такого підходу дозволяє мінімізувати час на прийняття об'єктивних і правильних рішень на стадіях проектування, конструювання та виготовлення тришарошкових бурових доліт, що загалом підвищує їх надійність.

Надалі перспективним є розробка комплексного підходу у оцінці технологічних операцій виготовлення тришарошкових бурових доліт з позицій критеріїв якості. Це повинно не тільки знизити собівартість вітчизняних тришарошкових бурових доліт, а й підвищити їх якісні показники та конкурентоздатність.

#### Література

1 Теоретичні основи обґрунтованого вибору критеріїв відмов і шляхів підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт / С. 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.

2 Яким Р. С. Науково-практичні основи технології виготовлення тришарошкових бурових доліт та підвищення їх якості і ефективнос-



ті: монографія / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, І.С.Яким. – Івано-Франківськ: Видання ІФНТУНГ, 2011. – 384 с.

3 Яким Р. С. Забезпечення якості тришарошкових бурових доліт на етапах їх життєвого циклу / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – Вип. 1,2 (43). – С. 338 – 342.

4 Яким Р. С. Науково-прикладні засади підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт: дис. ... доктора техн. наук: 05.05.12 / Яким Роман Степанович. – Івано-Франківськ, 2012. – 293 с.

5 Яким Р. С. Підвищення якісних показників тришарошкових бурових доліт з герметизованими опорами ковзання, вдосконаленням технології їх створення / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, І.С.Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. – № 2 (47). – С. 30–41.

6 Неупокоев В. Г. Вопросы теории и практики проектирования, производства и эксплуатации буровых шарошечных долот / Неупокоев В. Г. – Самара: Издательство Самарского научного центра Российской академии наук, 2000. – 376 с.

7 Долота шарошкові. Технічні умови (ГОСТ 20692-2003, ІДТ): ДСТУ ГОСТ 20692 : 2004 – [чинний з 2004-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 9 с. – (Національний стандарт України)

8 Specification for Rotary Drill Stem Elements (ISO 10424 – 1: 2004 (Identical)): ANSI/API Specification 7-1. – [Is valid march 2006]. – Washington: American Petroleum Institute, 2006. – 68 с. – (American National Standard).

9 Каинов Д. А. Проблемы построения критериев качества при производстве деталей / Д.А.Каинов // Вестник Национального технического университета Украины „Киевский политехнический институт”. Машиностроение – К.: НТУУ „КПИ”. – 2008. – Вып. 54. – С. 108 – 113.

10 Вероятностный анализ безопасности атомных станций / [Бегун В. В., Горбунов О. В., Каденко И. Н. и др.]. – К.: НТУУ КПІ, вид. фірма „Віпол”, 2000. – 568 с.

11 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.

12 Создание и совершенствование шарошечных долот для строительства скважин на нефть и газ. / А.В.Торгашов, А.А.Логинов, В.И.Позняков [и др.]. // Нефтепромысловое машиностроение: обзорная информация. – Серия ХМ-3. – М.: Центральный институт научно-технической информации и технико-экономических исследований по химическому и нефтяному машиностроению (ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ), 1990. – 49 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
20.10.14*

*Рекомендована до друку  
професором **Петриною Ю.Д.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Кіндрацьким Б.І.**  
(Інститут інженерної механіки і транспорту  
НУ «Львівська політехніка», м. Львів)*