

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра гірничої справи

АВТОРЕФЕРАТ
кваліфікаційної роботи

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Новітні технології розробки родовищ корисних копалин»
за спеціальністю 184 Гірництво

**на тему «Зниження витрат на підготовку гірських порід до
виймання шляхом вдосконалення організації буропідривних
робіт в умовах ПРАТ «ІНГУЛЕЦЬКИЙ ГЗК»»**

Здобувач

Олексій СИСТЕРОВ

Кривий Ріг 2024

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.
Робота виконана у Технічному університеті «МЕТІНВЕСТ
ПОЛІТЕХНІКА» на кафедрі гірничої справи.

Керівник: Григор'єв Ігор Євгенійович,
кандидат технічних наук, доцент
кафедри гірничої справи ТОВ
Технічний університет «Метінвест
Політехніка»

Захист відбудеться 23 січня 2024 р. о 09:00 год на засіданні
екзаменаційної комісії (посилання на Тімс).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному
репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ
ПОЛІТЕХНІКА» 26 січня 2024 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність дослідження. В технології відкритої розробки родовищ особливе місце посідають питання буріння вибухових свердловин, підвищення ефективності експлуатації бурових верстатів, підвищення надійності та вдосконалення конструкції виконавчих механізмів. Збільшення обсягів видобутку неминуче тягне збільшення обсягів бурових робіт, отже, довговічність роботи бурового верстата залежить від якості і періодичності проведених ремонтів. Тому зниження витрат на підготовку гірських порід до виймання шляхом вдосконалення організації буропідривних робіт є актуальною в теоретичному плані та має важливе значення.

Об'єкт дослідження. Контрольовані та неконтрольовані параметри впливу на процес буріння шарошковими верстатами при розробці кар'єру ПрАТ "Інгулецький ГЗК".

Мета дослідження. Аналіз стану науково-методичної бази з питання оптимізації режиму буріння свердловин верстатами шарошкового буріння при відкритій розробці родовищ корисних копалин, а також пошук шляхів вдосконалення організації буропідривних робіт в умовах ПРАТ «Інгулецький ГЗК».

Ідея. Аналіз світових практик та наукових матеріалів, а також заходів втілених на підприємстві, які направлені на підвищення експлуатаційних характеристик та довговічності шарошкових доліт буз втрати продуктивності бурового верстату.

Методи дослідження. Для отримання достовірних результатів та розв'язання завдань у кваліфікаційній роботі застосовувалися такі методи: метод теоретичного дослідження (літературний огляд), функціонально-вартісний аналіз, метод контрольних питань, метод морфологічного аналізу, метод фокальних об'єктів, метод технічних протиріч.

Основні результати.

Наукова новизна: розглянуті рішення щодо використання закономірностей між вхідними та вихідними параметрами у вигляді математичних моделей, для підвищення ефективності бурових робіт та зменшення їх собівартості.

Практична новизна: за результатами визначення оптимальних співвідношень вхідних параметрів впливу на процес буріння в умовах кар'єру ПрАТ "Інгулецький ГЗК" запропоновані рішення для збільшення продуктивності бурового парку та зменшення собівартості бурових робіт.

Галузь застосування: гірництво, кар'єр ПрАТ «Інгулецький ГЗК».

Значення роботи. Дане дослідження має практичне значення. Завдяки проаналізованим даним вдалося знайти оптимальні рішення для покращення параметрів бурового процесу, що і було завданням роботи.

Сировинною базою Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату є Інгулецьке родовище залізистих кварцитів, яке розташоване у південній частині Криворізького басейну. Протяжність родовища – понад 10 км.

Гірничі роботи із розробки покладу ведуться з 1961 року відкритим способом та включають два основні види робіт – розкривні та видобуткові.

Розкривні роботи полягають у підготовці до виїмки, вилучення, транспортування та складування розкривних порід для забезпечення доступу до корисних копалин та створення умов для його безпечного видобутку.

Добувні роботи забезпечують вилучення корисних копалин із надр для його подальшого збагачення та отримання готової продукції – залізорудної сировини.

Параметри Інгулецького родовища складають: довжина – 3 420 м (проектна – 3 600 м), ширина – 2 250 м (проектна – 2 250 м), глибина – 435 м (проектна - 667м). Саме цей кар'єр вважається одним із найбільш глибоких та потужних родовищ Європи.

Просування фронту гірничих робіт у кар'єрі проводиться від постійного південного борту у напрямку північ, паралельними заходками, навхрест простягання порід родовища.

На кар'єрі застосовується транспортна система розробки з використанням комбінованого транспорту: автомобільно-конвеєрного та автомобільно-залізничного.

Навантаження гірничої маси проводиться екскаваторами в автосамоскиди БелАЗ 75306 (г/п 200т), БелАЗ 75131 (г/п 130т), БелАЗ 7514 (г/п 120т), CAT 785C (г/п 136т) та думпкари 2BC-105. Саме в Інгулецькому кар'єрі в 2014 році вперше в Україні з'явилися перші 220-ти тонні автосамоскиди БелАЗ, які успішно працюють і сьогодні.

Серед виймально-навантажувального обладнання, яке використовується в Інгулецькому кар'єрі: ЕКГ-8І, ЕКГ-10, ЕКГ-12К, Hitachi EX3600-6, Hitachi EX2500-6.

Розробка здійснюється на горизонтах:

- пухких порід від плюс 72 м до мінус 45 м;
- скельних розкривних порід від плюс 26 м до мінус 420 м;
- видобуток руди від мінус 15 м і нижче до мінус 420 м (станом на 01.01.2022 р).

Річна проектна потужність кар'єру з 2018 по 2025р.: по руді становить 27,3 млн т, по розкриву – 20,5 млн м3/рік. З 2026 по 2035р. по руді – 27,39 млн т, по розкриву – 22,17 млн м3/рік.

При розробці родовища корисних копалин одним із основних обладнань є бурове, а саме шарошкові бурові верстати. Тому вкрай важливо забезпечити їхню ефективну та стабільну роботу. Для цього необхідно шукати та розробляти економічно доцільні варіанти

підвищення продуктивності обладнання з найменшим впливом на собівартість процесу. В даній кваліфікаційній роботі розглянуто виявлені закономірності впливу вхідних параметрів на результат що дає змогу при вкладенні цих закономірностей в практичні математичні моделі збільшити продуктивність бурових верстатів без зміни собівартості робіт.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 83 сторінки, робота містить 16 рисунків, 2 таблиці. Список використаних джерел складається з 80 джерел.

ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Проаналізовано загальну характеристику шарошкових бурових верстатів та принципи їх роботи, також шляхи їх вдосконалення та розвитку. В даний час верстати шарошкового буріння є найбільш поширеними при підготовці гірничої маси до виймання на відкритих гірничих роботах, зважаючи на їх універсальність, що забезпечує ефективне буріння свердловин у найрізноманітніших гірничо-геологічних умовах. З їх допомогою виконується до 85% обсягів бурових робіт на кар'єрах.

За роки розвитку бурової техніки, як у нашій країні, так і за кордоном, позначилися такі напрямки вдосконалення бурових верстатів:

- збільшення енергоозброєності основних систем верстатів;
- підвищення надійності та ремонтпридатності, розробка засобів діагностики стану всіх систем бурового верстата;
- розробка систем, що знижують динамічні навантаження на верстат, а також засобів захисту персоналу від впливу вібрації;

- автоматизація управління процесом буріння, а також повна механізація та автоматизація виконання допоміжних операцій;
- оптимізація параметрів режиму буріння;
- підвищення міцності та зносостійкості бурового інструменту;
- підвищення автономності та мобільності бурових верстатів.

Діалектика розвитку техніки взагалі, та верстатів шарошкового буріння зокрема, вказує на неминучість переходу кількісних досягнень в окремих галузях розвитку в якісні перетворення, реалізація яких дозволить підняти технічний рівень бурових верстатів у цілому.

Розвиток бурової техніки на базі накопиченого вітчизняного та зарубіжного досвіду буріння, експериментів та досліджень призвели до створення бурових верстатів третього покоління, якісними ознаками яких є нові функціональні та технологічні особливості.

До функціональних особливостей відносяться: автоматизовані системи керування процесом буріння з рядом пристроїв, що дозволяють забезпечити високі техніко-економічні показники. До таких пристроїв відносять: пристрої управління процесом буріння, пристрої автоматизації допоміжних операцій, регульовані приводи основних механізмів верстата.

До технологічних особливостей відносять: інформаційні та інформаційно-керуючі системи автоматизованого та автоматичного управління, що реалізуються із застосуванням мов програмування високого рівня.

У технологічному процесі Інгулецького кар'єру буріння вибухових свердловина здійснюється верстатами шарошечного буріння СБШ-250-МН-32, СБШ-250/160-55, УСБШ-250А, Ferdinand (заводу ДСД), Atlas Copco, Epiroc.

При бурінні свердловин використовуються долота $\varnothing 165\text{мм}$, $\varnothing 229\text{мм}$, $\varnothing 215\text{мм}$, $\varnothing 244,5\text{мм}$, $\varnothing 250,8(251)\text{мм}$, $\varnothing 258\text{ мм}$ и $\varnothing 270\text{мм}$.

Діаметр свердловин складає відповідно $\varnothing 165\text{мм}$, $\varnothing 240,5\text{мм}$, $\varnothing 220\text{мм}$, $\varnothing 256\text{мм}$, $\varnothing 262,3\text{мм}$, $\varnothing 271\text{ мм}$ и $\varnothing 283,5\text{мм}$.

Зараз в кар'єрі ІНГЗК знаходиться на балансі працює 16 одиниці техніки:

УСБШ-250А – 5 шт.

СБШ-250-МН-32 – 2 шт.

СБШ-250/160-55 – 2 шт.

Ferdinand – 1 шт.

Atlas Copco – 2 шт.

Epiroc – 4 шт.

Гірничі роботи в кар'єрі ведуться на основі місячної програми гірничих робіт, складеної з урахуванням розробленого, погодженого та затвердженого інспектуючими органами річного плану розвитку гірничих робіт, паспортів ведення гірничих робіт, заходів щодо безпечного виконання робіт.

У проектах гірничих робіт наносяться:

- положення верхніх і нижніх брівок уступу, що відпрацьовується;
- фактичних та проектних позначок горизонту;
- межі підірваної гірської маси;
- положення існуючих автошляхів, залізничних колій, ЛЕП, трубопроводів, технічних споруд, підземних виробок, види порід та контакти на даній ділянці;
- розрізи;
- межі проектних контурів (за потреби);
- межі санітарно-захисної зони.

Під час проектування гірничих робіт має бути враховано:

- параметри застосовуваного виїмково-вантажного та транспортного обладнання;
- безпечні відстані під час роботи обладнання на суміжних горизонтах;
- напрямки гірничих робіт та їх інтенсифікація;
- структура та фізико-механічні властивості гірських порід.

Кожному проекту надають назву та вказують дату його складання.

Проект гірничих робіт підписують проектувальник, маркшейдер Кар'єру, начальник технічного бюро Кар'єру, спеціаліст за напрямом Кар'єру та затверджує заступник начальника Кар'єру з виробництва та планування.

Перегін верстатів в Інгалецькому кар'єрі за допомогою дизель-генераторної установки (ДГУ) здійснюється за потреби переміщення обладнання на значні відстані. Перегін виконується згідно з діючою технологічною інструкцією ТІ 00190905.01.004.

Розглянуто вітчизняний та світовий досвід вдосконалення та вибору режимів буріння. Опрацьовані методики знаходження оптимального режиму буріння, які можна поділити на три групи:

- моделювання процесу буріння на основі закономірностей, отриманих при вивченні руйнування гірських порід методом одиничного та статичного впровадження штампів в породу (як правило, в атмосферних умовах).
- методи, що ґрунтуються на попередньому дослідному визначенні базових залежностей.
- методи визначення оптимального поєднання доліт та параметрів режиму поглиблення свердловини на основі математичного моделювання процесу відпрацювання долота.

Опрацьована методика оптимізації режиму буріння на основі базових залежностей. Методи цієї групи представлені методиками, загальною ознакою яких є визначення залежностей, званих

"базовими", одержуваних після проведення великої кількості дорогих промислових експериментів.

Загальний вид залежностей:

$$v_{M0}=f(G, n); \quad T_e=f(G, n); \quad T_{on}=f(G, n); \quad v_{Mm}= v_{M0}f(t)$$

де v_{M0} - початкова механічна швидкість буріння;

T_B - вартість озброєння долота, що вимірюється часом роботи до повного зносу;

T_{OH} - то же для опор долота;

v_{MT} - поточна швидкість буріння як функція початкової механічної швидкості та часу (так званий декремент падіння швидкості буріння внаслідок зносу озброєння долота);

G - осьове навантаження на долото;

n - швидкість обертання долота.

Різні автори висувують свої підходи до визначення виду функцій базових залежностей. Але всі відзначають необхідність проведення експерименту в промислових умовах, при цьому потрібно провести довбання остаточно, тобто до повного зношування долота. При проведенні експерименту необхідно, щоб долото повністю відпрацювало в рівній пачці, за буримістю. Раніше, коли проходка на долото була невеликою (через малу стійкість), ці умови були здійсненні, тепер же при сучасних долотах, проходка яких часто становить понад 500 метрів, відпрацювати долото в однорідній за буримістю пачці практично неможливо. Протягом дослідного довбання параметри режиму буріння мають бути незмінними. До того ж, необхідно провести кілька експериментів для того, щоб можна було стверджувати, що отримана базова залежність не є випадковою. Провести в одній свердловині кілька довбань в одних і тих самих умовах (параметри рідини для промивання, буріння порід) неможливо, а те, що в новій свердловині умови проведеного раніше досвіду повторяться, теж мало ймовірно.

У літературі наводяться різні значення α і β , аналіз яких показує, що в залежності від конкретних умов руйнування породи величини α і β можуть змінюватися в широких межах: $0 < \alpha < 3$; $0,2 < \beta < 1$.

Розглянуті вище базові залежності використовують у двох напрямках.

Одним із перших метод аналізу процесу за допомогою залежності $\delta(g)$ застосував Лінген. Згодом ним скористалися Фінстра та Лювен і, нарешті, М.Г. Бінгхем.

Фінстра та Лювен скористалися залежністю $\delta(g)$ при обробці результатів стендових досліджень впливу параметрів режиму буріння та вибійних умов на процес руйнування непроникних порід. Це дозволило їм не тільки виявити низку нових фактів, а й значно спростило обробку та виклад матеріалу.

М.Г. Бінгхем запропонував аналізувати процес руйнування порід за допомогою залежності $\delta(g)$, графік якої після лінійної апроксимації він назвав діаграмою буріння.

Діаграма буріння - це залежність проходки долота за один оборот δ від питомого (наведеного до одиниці діаметра долота) осьового навантаження g .

М.Г. Бінгхем стверджує, що залежність $\delta(g)$ є критеріальною стосовно первинної залежності механічної швидкості буріння від параметрів режиму буріння.

Процес руйнування порід на вибої описується цілим рядом параметрів:

- механічна швидкість буріння v_M (параметр, що характеризує результат процесу);
- навантаження на долото G ;
- швидкість обертання n ;
- діаметр долота D ;
- диференційний тиск на вибої рдїф

- міцність породи, що оцінюється твердістю порід r_{sh} або міцністю на стискання ρ_{cm} ;
- вміст твердої фази у розчині;
- реологічні та технологічні параметри розчину;
- витрата промивної рідини Q .

Останні вісім параметрів – це величини, що впливають на процес.

М.Г. Бінгхем розвинув метод аналізу графіка залежності $\delta=f(g)$ при бурінні шарошковими долотами, по суті, до теорії буримості. Основні результати його досліджень зводяться до наступного:

- застосування залежності $\delta(g)$ дозволяє систематизувати безліч приватних залежностей $v_M(G, n)$, отриманих у різних геолого-технічних умовах;
- для кожного типу озброєння долота існує верхнє граничне положення графіка залежності $\delta(g)$, відповідне буріння в атмосферних умовах з промиванням водою або продуванням. Графіки залежності $v_M(g)$, отримані при різних n такими властивостями не володіють;
- існування верхнього граничного положення залежності $\delta(g)$ надають їй характер діаграми, коли про особливості конкретно протікаючого процесу судять по тому, як вони розташовуються на діаграмі буріння;
- при досконалій очистці вибою залежність $\delta(g)$ можна апроксимувати двома прямими, одна з яких виходить з початку координат або з точки близько до нього розташованої, а продовження другої, яку Бінгхем називає «робочою» лінією, відсікає від осі g позитивний відрізок Og_0 , що є (при бурінні новим долотом) еквівалентом міцності породи. Використання прийому заміни кривої двома прямими він надає настільки важливого значення, що свою теорію навіть назвав «методом лінійної апроксимації»;

- при «недосконалому» очищенні вибою дослідні точки утворюють лінії, що відхиляються вниз від другої зі згаданих прямих;
- кожне долото може бути оцінено «коефіцієнтом ефективності» теф, який підраховується на підставі кутового коефіцієнта робочої лінії K_v при бурінні долотом без зношування з промиванням водою в атмосферних умовах та величини g_0 ; $m_{ef} = K_v g_0^{0,5}$, причому теф залежить, на думку М.Г. Бінгхема, від зносу озброєння долота;
- величини кутового коефіцієнта робочої лінії K_v (відношення Δb до Δg) та g_0 залежать від типу озброєння долота, типу бурового розчину, величини тиску на вибій, інтенсивності промивання та швидкості обертання долота;
- при зміні швидкості обертання долота n або заміні його на долото з іншим ковзанням зубів (зміні типу озброєння) змінюються величини кутових коефіцієнтів прямих, але величина g_0 залишається незмінною.
- у міру зменшення висоти зубів долота в результаті їх зносу зростає величина g_0 і зменшуються кутові коефіцієнти прямих;
- відношення кутових коефіцієнтів робочої лінії та початкової, на думку М.Г. Бінгхема, завжди дорівнює 2.

Пошук методики моделювання процесу буріння шарошковими долотами продовжив П.Ф. Осипів. Основні результати його досліджень опубліковані в роботах. Запропонована П.Ф. Осиповим методика моделювання заснована на прогнозуванні видозміни діаграми буріння під впливом природних та технологічних факторів. Роботи П.Ф. Осипова продовжив та та доповнили інші вчені. Який сформував наступну діаграму буріння.

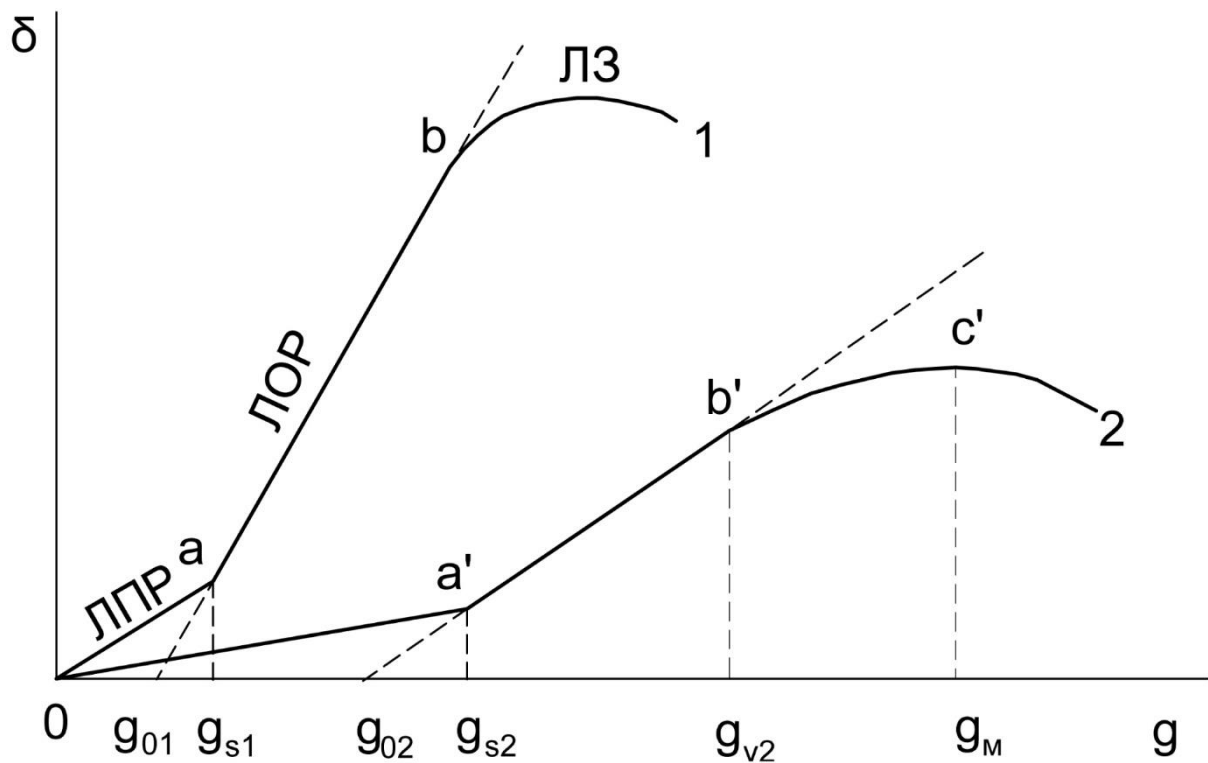


Рис. 1.1. Загальний вид діаграми буріння:

1 – буріння в атмосферних умовах; 2 - буріння у вибійних умовах

Видно, що загальний вигляд залежності $\delta(g)$, отриманої в забійних умовах, представлений тими ж елементами, що і аналогічна залежність, отримана при бурінні в атмосферних умовах. Відрізняються вони лише тим, що друга лінія розташовується нижче за першу

Елементи оперативного управління технологією поглиблення свердловини виявляються тоді, коли робиться спроба відкоригувати у бік оптимальних проектні параметри режиму буріння на підставі оперативної інформації, отриманої в процесі буріння свердловини, та реалізувати їх у поточному чи майбутньому довшанні.

З усього різноманіття факторів, що характеризують умови роботи долота на вибої, деяку частину становлять некеровані (наприклад, властивості порід, тип приводу).

Інша частина факторів, що характеризує умови роботи долота, - це фактори, які можна і доцільно змінювати у взаємодії долота з

породою. До них, перш за все, слід віднести осьове навантаження G , кількість обертів долота в хвилину n , кількість і якість рідини для промивання (тобто параметри режиму буріння), час перебування долота на вибої.

Тому, розглядаючи питання оперативного управління процесом буріння, виділимо два головні: питання оптимізації параметрів режиму буріння та питання визначення раціонального часу роботи долота.

Численні фактори, від яких залежить значення оптимальних параметрів режиму буріння та раціонального часу перебування долота на вибої, зазвичай суттєво варіюються навіть у ході одного довбання. Деякі з них (такі, як знос робочих елементів долота) змінюються закономірно, зміна інших (наприклад, властивостей порід) носить випадковий характер. Тому оперативне управління поглибленням свердловини дасть значний ефект.

У загальному випадку оперативний метод управління процесом буріння можна розбити на наступні етапи:

- збір необхідної інформації про процес;
- обробку інформації та її використання за методикою, яка передбачає отримання відповідної рекомендації про раціональне значення того чи іншого керованого параметра;
- вибір раціонального значення керованого параметра та його застосування у реальному процесі.

Отже, ефективність оперативного управління істотно залежить від обсягу та якості інформації, а також, не меншою мірою, від правильності прийнятих методів її обробки.

В даний час бурильник ще не скрізь має засоби отримання інформації про процес буріння достатнього обсягу і якості.

Найбільший ефект і точність визначення значень параметрів буріння дає застосування комп'ютерних станцій геолого-технологічного контролю.

Щодо методів обробки цієї інформації, то вона здійснюється на підставі накопиченого досвіду та рівня методичної підготовленості виконавців. Величезна кількість даних, що надходять з датчиків, не обробляється належним чином. Що стосується рекомендацій щодо оптимізації режиму буріння на основі отриманої інформації, то оператор може дати їх тільки на інтуїтивному рівні та на основі свого особистого досвіду.

Оперативне управління відрізняється від проектування лише тим, що зміни до регламенту поглиблення свердловини вносяться у процесі буріння. Розрахунок режимів буріння при оперативному управлінні ґрунтується на тому, що інформація надходить безпосередньо з свердловини, що бурить, в той час як при проектуванні ґрунтуються на інформації, отриманій при проведенні сусідніх свердловин.

Відмінності у методиках знаходження оптимальних режимів буріння при оперативному управлінні та проектуванні немає. Відмінності полягають лише в інформаційному забезпеченні та часі реалізації отриманих рішень. Таким чином, оперативне управління режимом буріння, якщо пошук і реалізація рішень здійснюється із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення, в принципі нічим не повинно відрізняється від звичайного, за винятком часу, що відводиться на пошук оптимального режиму буріння, та особливостей інформаційного забезпечення. Отже, вирішення завдання розробки методики інформаційного забезпечення математичної моделі та її комп'ютерної програми, що реалізує її, вирішить одночасно всі принципові проблеми оперативного управління поглибленням свердловини.

За структурою управління процесом буріння породного масиву буровибухові роботи на відкритих гірничих розробках є складним процесом, тісно пов'язаним з усіма комплексами робіт гірничого підприємства, що входять до АСУ ТП. Завдання управління цим процесом є досить складним і, на думку вчених, може бути вирішено лише за допомогою методів теорії великих систем (системотехніки, дослідження операцій, моделювання систем тощо).

Управління процесом буріння породного масиву умовно можна поділити на три рівні:

- технологічний – на рівні бурових верстатів;
- організаційно-технологічний - оперативно-диспетчерський
- управління на рівні ділянок, вибоїв, бригад;
- організаційний - планування та управління буровими роботами на рівні гірничого підприємства.

При обурюванні породного масиву буровими верстатами шарошкового буріння виконуються такі технологічні операції: встановлення верстата на заданій позначці, горизонтування, буріння, нарощування (розбирання) бурового ставу, заміна зношеного інструменту, зміна місця стояння.

На технологічному рівні управління процесом буріння породного масиву можна виділити три режими:

- формування свердловини – режим «Буріння»;
- керування параметрами буріння - «Режими впливів, що задають»;
- управління допоміжними операціями – режим «Технологічна підтримка процесу буріння».

На рис. 1.2 представлена структура управління процесом буріння породного масиву на відкритих гірничих роботах на технологічному рівні.

У режимі «Буріння» виділяються такі завдання: «Свердловина» та «Параметри свердловини». У задачі «Свердловина» задається глибина свердловини та вибирається долото. У задачі «Параметри свердловини» враховуються швидкість буріння та зношування долота (прохідка на долото).

У «Режимах впливів, що задають» виділяються такі завдання: вибір впливів, що задають (ВЗВ) - оптимізація параметрів буріння; виконання впливів, що задають (ІЗВ) - стабілізація параметрів буріння; корекція впливу (КЗВ), що задають - корекція параметрів буріння. Підзавданням вибору впливу (ВЗВ) є оптимізація за оперативно вимірюваними критеріями оптимальності (локальна оптимізація): максимальної швидкості буріння, мінімальної витрати електроенергії, ступеня зносу долота.

Виконання впливів, що задають (ІЗВ) полягає в підтримці заданих режимів осьового зусилля подачі, частоти обертання долота, продування свердловини і в стабілізації параметрів буріння. Реалізація режимів осьового зусилля подачі та частоти обертання долота конструктивно здійснюється за допомогою обертально-подавального механізму.

Технологічний рівень управління процесом оборювання породного масиву

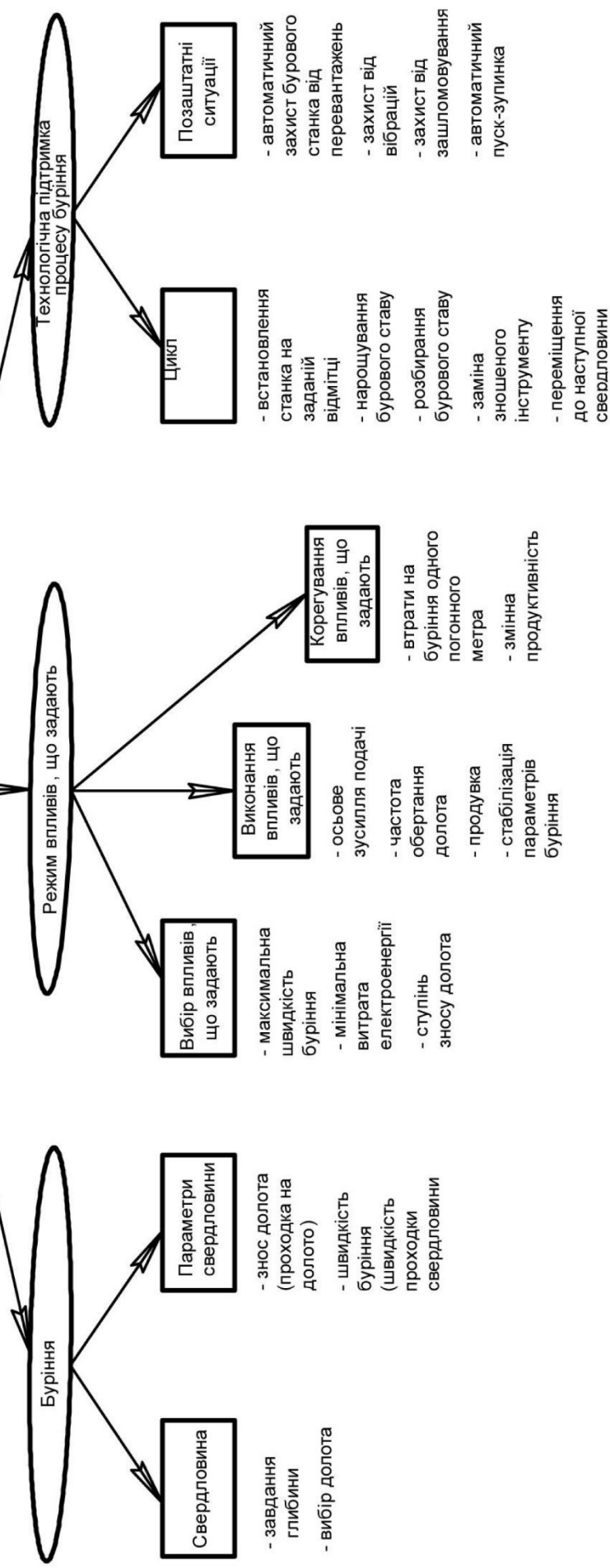


Рис. 1.2. Структура управління процесом буріння породного масиву

Вирішення завдань корекції впливу (КЗВ) передбачає оптимізацію за критеріями оптимальності, які не можуть бути виміряні оперативно: витрати на буріння одного погонного метра свердловини, змінна продуктивність верстата.

У режимі "Технологічна підтримка процесу буріння" виділяються два завдання:

- управління циклічними операціями – цикл;
- захист об'єкта від перевантажень та аварій - Позаштатні ситуації.

До складу «Цикл» входять такі підзавдання: встановлення верстата на заданій позначці, нарощування бурового ставу, розбирання бурового ставу, заміна зношеного інструменту, переміщення до наступної свердловини.

"Позаштатними ситуаціями" виконуються: автоматичний захист бурового верстата від перевантажень, вібрацій, автоматичний пуск - зупинка.

Аналіз систем керування процесом шарошкового буріння. Відомо, що автоматичне управління - процес управління об'єктом, при якому операції, що забезпечують досягнення заданої мети, виконуються системою, що функціонує без втручання людини відповідно до заздалегідь заданого алгоритму. Автоматичне керування реалізується в системах автоматичного керування (САУ) - сукупності автоматичного керуючого пристрою та керованого об'єкта.

САУ поділяються на системи: автоматичного регулювання (САР), завдання яких входить підтримання постійного значення керованої величини; програмного управління, де керована величина змінюється за заданою програмою; стежачі, котрим програма управління заздалегідь невідома і характер поведінки системи залежить від зміни умов функціонування об'єкта управління; адаптаційні або самоприсосовні.

При вирішенні завдань управління буровим верстатом, як правило, вдаються до абстрактного експериментування, що забезпечує досить точний збіг реальних умов з досвідом – математичного моделювання. Для цього будують математичну модель операції управління буровим верстатом, яка описує її структуру та властивості у кількісних термінах.

Фактично процес прийняття рішення включає дві проблеми:

- вибір показника ефективності, визначення безлічі допустимих рішень та цільової функції;
- відшукування екстремального значення цільової функції та рішення, що йому відповідає.

Перша проблема полягає в математичному описі умов, у яких протікає операція управління, мети її здійснення та входить, по суті, у математичне моделювання.

Друга проблема входить до кола екстремальних завдань математики.

Критерій ефективності вибирається залежно від мети операції управління, її природи та умов здійснення. Критерій ефективності, з одного боку, повинен бути досить простий, щоб його легко було обчислювати та аналізувати, а з іншого боку, повинен бути чутливий (критичний) по відношенню до величин, що оптимізуються (керованим змінним).

Аналіз ієрархії критеріїв експлуатації бурового верстата (рис. 2.1) дозволяє прийняти як критерії оптимізації управління наступні критерії ефективності управління бурінням:

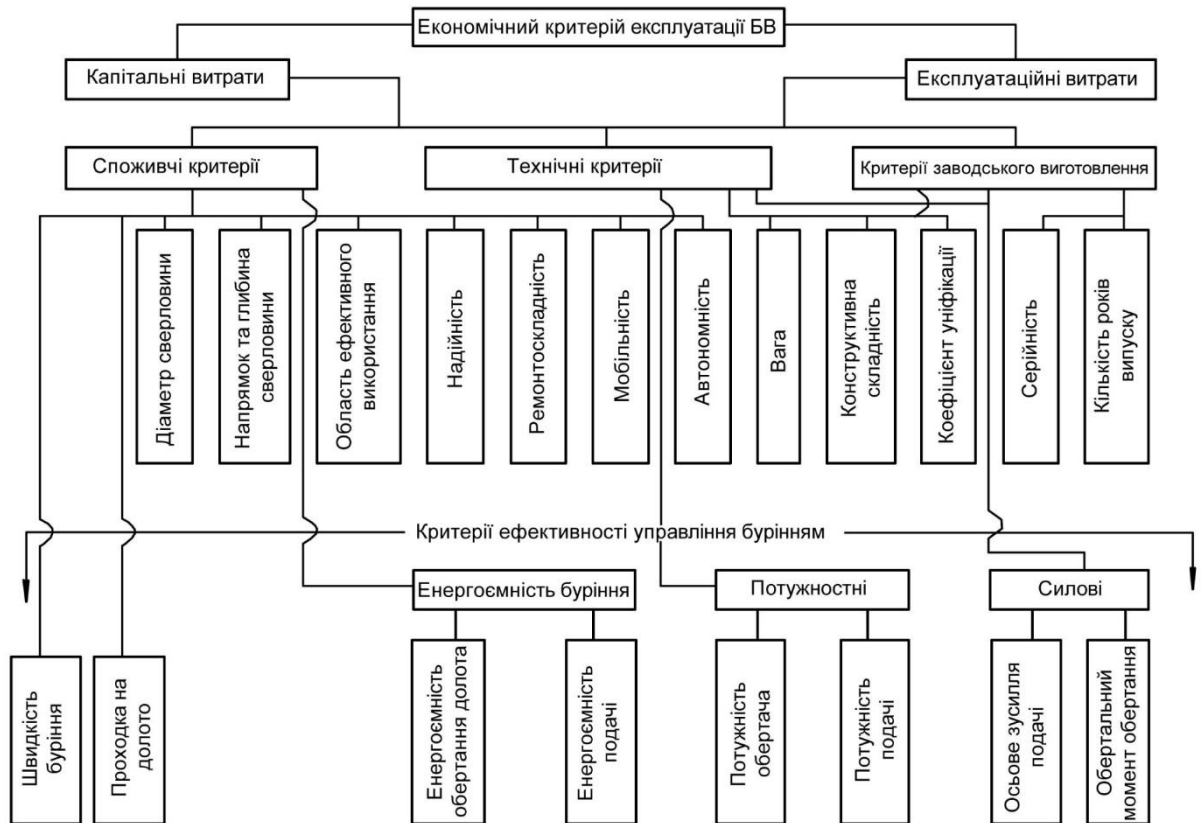


Рис. 2.1. Схема ієрархії критеріїв експлуатації бурового верстата

- споживчі - швидкість буріння, проходка на долото та енергоємність буріння;
- технічні - потужнісні критерії.

Швидкість буріння і проходка на долото є параметрами, що спостерігаються в процесі буріння, а енергоємність буріння і потужнісні критерії (потужність механізмів подачі та обертання) не спостерігаються, але оперативно обчислюються. Запропоновані критерії оптимізації можуть бути покладені в основу розробки алгоритмів керування кульковим верстатом у режимі буріння.

Як об'єкт управління процес шарошкового буріння є досить складною системою, складовими частинами якої є верстат, буровий став, долото і процес буріння.

Управління параметрами режиму буріння характеризується великою кількістю вхідних та вихідних величин. На входи об'єкта надходять (рис. 2.2):

- керуючі впливи U_1, U_2, \dots, U_n ;
- контрольовані обурення $K_{v1}, K_{v2}, \dots, K_{vm}$;
- неконтрольовані випадкові обурення F_1, F_2, \dots, F_t .

Реакцією об'єкта на ці впливи та обурення є встановлення на його виході деяких (визначених) значень вихідних змінних Z_1, Z_2, \dots, Z_k , з яких керованими можуть бути всі або частина з них.

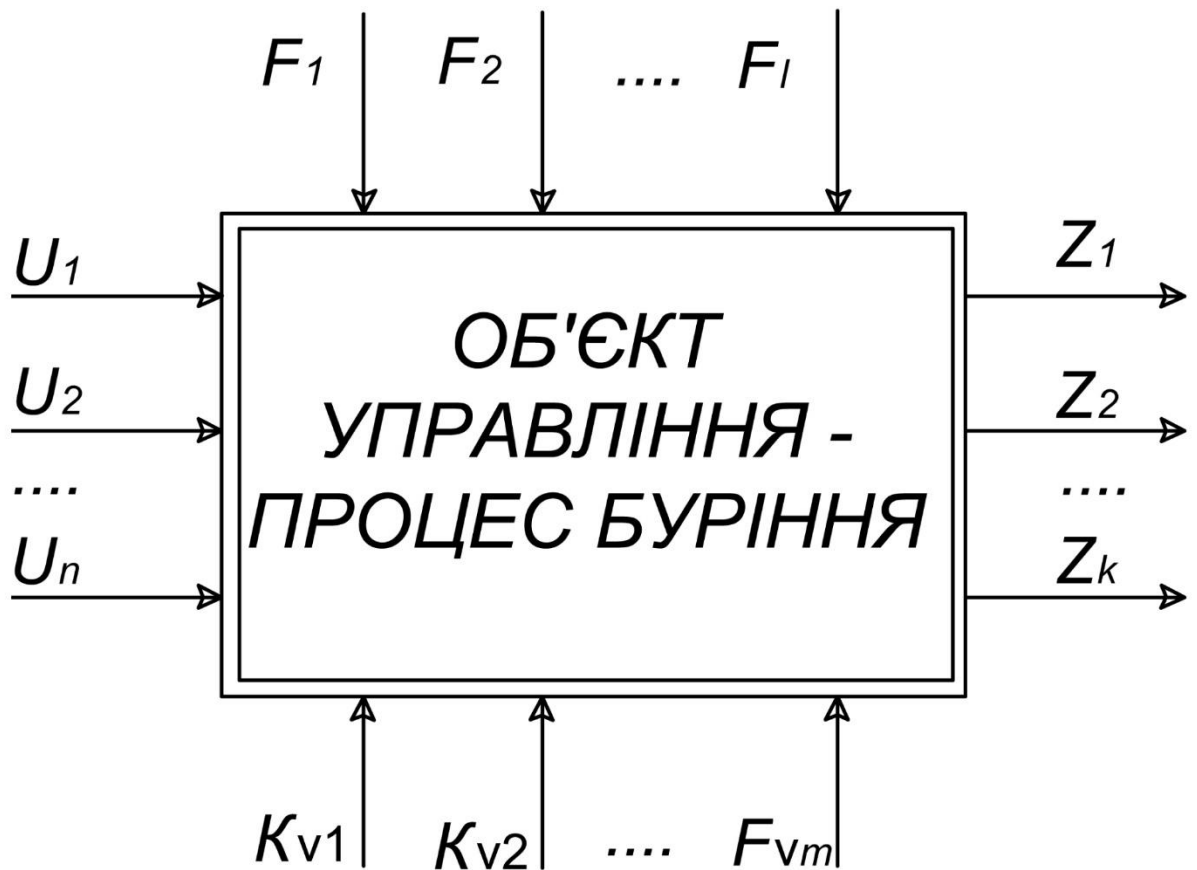


Рис. 2.2. Вхідні та вихідні параметри управління процесом буріння

Основною особливістю управління є вибір сукупності впливів. При регулюванні підтримується постійною або змінюється за деяким законом яка-небудь величина, що характеризує процес.

Процес шарошкового буріння, що реалізується ОПМ, і як об'єкт управління, що характеризується вхідними та вихідними параметрами, можна подати у вигляді зв'язків, рис. 2.3.

Вхідні параметри, що характеризують технічні можливості бурового верстата та умови буріння, поділяються на:

- керуючі, які оперативно регулюються (осьове зусилля подачі -

P_{oc} ; частота обертання долота - $\omega_{врд}$ витрата повітря для очищення свердловини – Q_v ; кут відхилення осі свердловини від вертикалі – β_0 ;

- контрольовані, що не залежать від процесу буріння (конструктивні параметри (маса, габарити, типи приводів основних механізмів) бурового верстата – K_{cm}) та залежні від режимів буріння (діаметр та глибина свердловини – P_b , параметри вібрації верстата: амплітуда, частота – B_{cm});
- неконтрольовані випадкові - параметри середовища, що руйнується - P_{cp} .

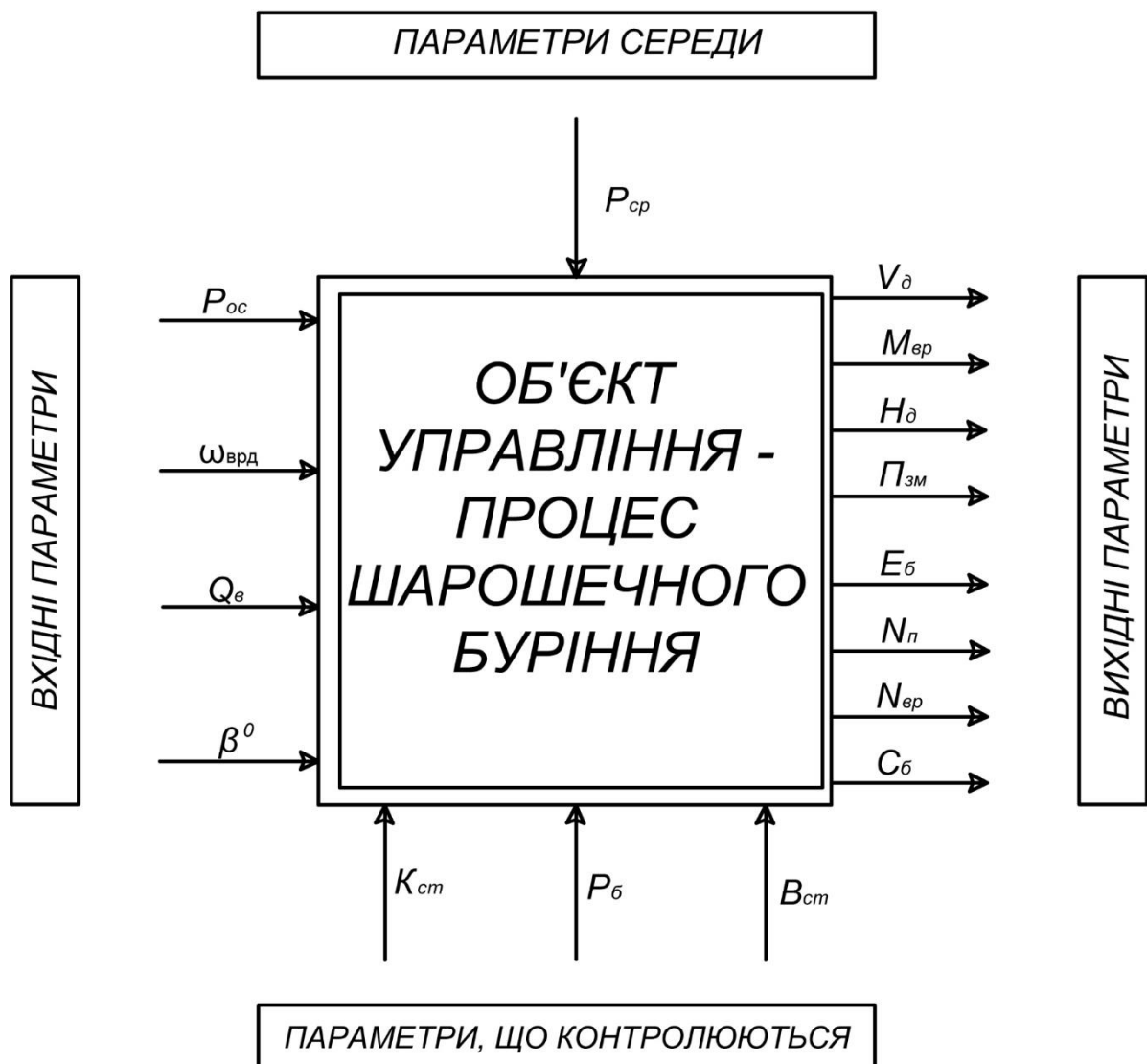


Рис. 2.3. Зв'язок вхідних та вихідних параметрів управління процесом шарошкового буріння

Всі зусилля при створенні нової бурової техніки та удосконалення в конструкціях існуючих верстатів підпорядковані кінцевій меті – збільшенню швидкості буріння при зниженні витрат на прохідку.

Величина осьового зусилля обмежується конструкцією та міцністю шарошок долота, а частота обертання залежно від умов – вібрацією системи, можливістю ефективного очищення свердловини, динамічною вантажопідйомністю підшипникових вузлів долота.

Процес поверхневого руйнування, або стирання, характеризується тим, що тиск по контуру озброєння шарошки з породою завжди менший за твердість породи на вдавлювання. Швидкість руйнування зростає майже лінійно. Сам процес руйнування стирання малоефективний і має місце у обертальному бурінні міцних порід при малих навантаженнях на шарошкове долото.

Втомне руйнування є перехідним процесом. Для нього характерні ті самі умови, як і при поверхневому руйнуванні. Особливість процесу полягає в тому, що порода руйнується при багаторазовому впливі на неї озброєння шарошки. Тому періодично у вибої виникають умови для об'ємного руйнування.

Закономірність зміни швидкості буріння в залежності від величини осьового зусилля визначається співвідношенням показників контактного тиску та твердістю породи на вдавлювання, тобто, зрештою, конструкцією озброєння долота.

У сферу вивчення впливу режимів буріння з його ефективністю входять кілька режимоутворюючих чинників, конкретний показник яких залежить від виду буріння. Серед найважливіших режимоутворюючих параметрів можна відзначити:

- осьове зусилля на долото, P ;
- частоту обертання снаряда (долота) ω ;

Встановлення раціональних режимів буріння зводиться до розрахунку, крім правильних співвідношень між міцністю порід і відповідно осьовим тиском і числом обертів інструменту, що руйнує, а також режимів очищення від бурової дрібниці і вибору параметрів бурового інструменту.

З достатньою точністю сумарний питомий час виконання основних (буріння) і всіх допоміжних операцій, що доводиться на 1 м пробуреної свердловини, можна вважати постійним для прийнятої моделі бурового верстата при певному показнику труднощів буріння породи P_b .

Для розуміння процесу був виконаний аналіз впливу осьового зусилля і частоти обертання долота на швидкість буріння і стійкість шарошкових доліт. Оцінка варіантів технологічних рішень проводилася за мінімальною собівартістю бурових робіт, яка враховує вплив різнобічних факторів.

У якості вихідних даних приймали: породи міцністю в діапазоні від 10 до 20, швидкість обертання в діапазоні від 15 1/хв до 120 1/хв., осьове зусилля в діапазоні від 10 кН до 280 кН. Результаті досліджень наведені на рис. 3.5-3.6.

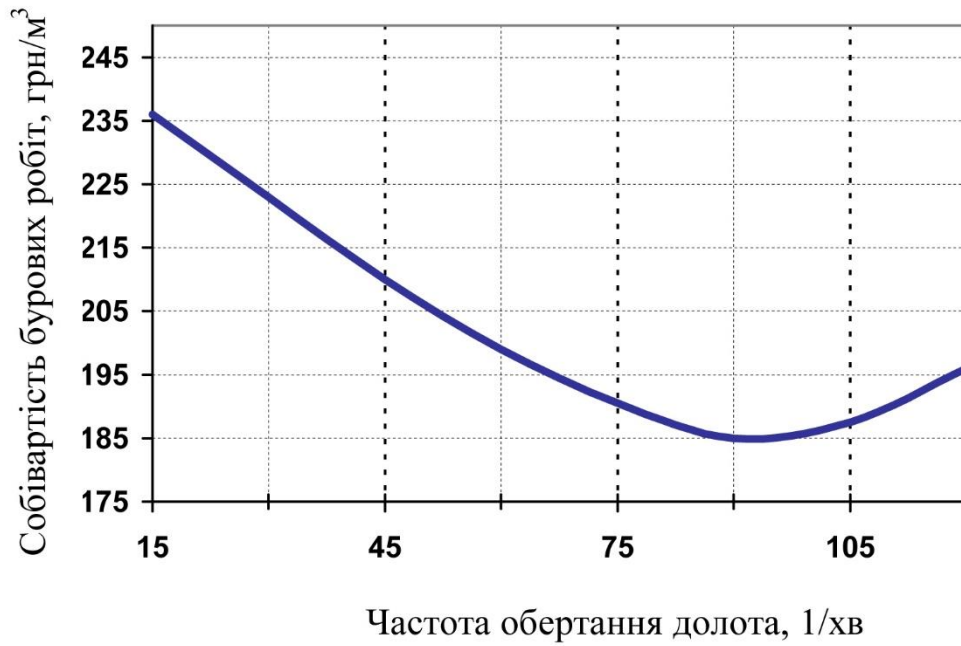


Рис. 3.5. Визначення оптимальної частоти обертання шарошкового долота

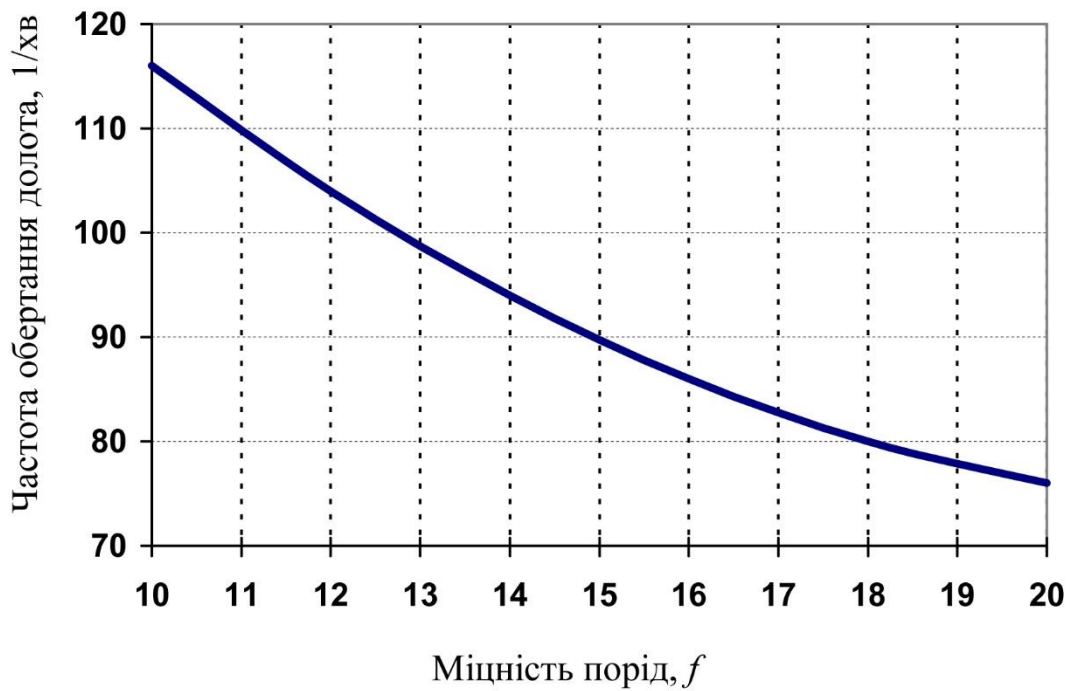


Рис. 3.6. Визначення частоти обертання долота в залежності від міцності порід

На рис. 3.5 представлено результати дослідження з визначення оптимальних параметрів буріння свердловин. Аналіз отриманих результатів показує, що для розглянутих умов (вихідні дані по швидкості буріння та стійкості шарошкових доліт одержані шляхом

аналізу показників роботи бурових верстатів на кар'єрі ІНГЗК) оптимальна частота обертання долота при осьовому навантаженні 220 кН та міцністю порід 18 за шкалою професора Протодьяконова повинна знаходитися в межах 85-95 1/ хв.

Аналіз техніко – економічних показників бурових робіт показав, що для оптимізації бурових робіт в кар'єрі необхідно підвищувати стійкість шарошкових доліт за рахунок оптимізації режимних параметрів (швидкості обертання та навантаження на долота) при обурюванні порід з різними фізико-механічними властивостями. Це призведе до збільшення продуктивності бурових верстатів і як наслідок зменшення витрат на бурові роботи. При цьому буде відбуватися також економія коштів за рахунок підвищення стійкості доліт (внаслідок їх великої вартості – більше 30000 грн).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Досвід використання бурових верстатів на кар'єрах показує, що однією з основних статей витрат є витрати на шарошкові долота, тому необхідно вибирати такі режими роботи бурового верстата, за яких максимально використовуються паспортні ресурсні можливості бурового інструменту, через те що вони не підлягають відновленню і матеріальні витрати на його заміну становлять значну частину витрат на буріння одного погонного метра свердловини.

Аналіз існуючих систем та способів керування параметрами режиму буріння шарошковими верстатами на кар'єрах дозволяє зробити наступні висновки:

- процес буріння вибухових свердловин на відкритих гірничих роботах тісно пов'язаний з усім технологічним комплексом гірничого підприємства, а завдання управління цим процесом є актуальним і досі не отримало оптимального рішення;

➤ процес буріння з раціональними параметрами (осьовим зусиллям подачі бурового ставу та частотою обертання долота) при досягнутому рівні управління буровим верстатом становить не більше 5-10% його машинного часу, при цьому оцінка оптимальності параметрів буріння, що призначаються машиністом-оператором, має відносну помилку до 90-100 %;

➤ оперативне регулювання параметрів буріння викликає необхідність розробки якісно нових математичних моделей процесу буріння, що не мають на сьогоднішній день оптимальних алгоритмів управління осьовим зусиллям подачі бурового ставу та частотою обертання долота;

➤ необхідно розробити алгоритми управління шарошковим верстатом, які можуть бути реалізовані в системі управління буровим верстатом як самостійна компонента верстата, з можливістю її інтеграції до структури АСУ ТП ділянки БВР та на рівні управління гірничим підприємством.

При вирішенні питання оптимізація параметрів режиму буріння вибухових свердловин шарошковими верстатами необхідно буде вирішити такі питання:

➤ розробка алгоритмів управління параметрами обертально-подавального механізму, що забезпечують повне вироблення паспортного ресурсу долота;

➤ розробка алгоритмів керування шарошковим верстатом у режимі буріння;

розробка математичної моделі зв'язків параметрів обертально-подавального механізму.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Луценко С.О., Богданов Д.О., Яковенко С.В., Систеров О.В. Обґрунтування області можливого регулювання режиму гірничих робіт, що забезпечує досягнення заданої продуктивності кар'єру по руді // International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education» : conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia: «Baltija Publishing». – 2023. – 272 pages.

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена детальному аналізу та оптимізації технологій буропідливних робіт на кар'єрах, акцентуючи увагу на вдосконаленні процесів проектування та управління. У першому розділі розглядаються особливості технології буріння на кар'єрах, стан бурової техніки, аналіз вітчизняного та світового досвіду в оптимізації режимів буріння, а також різні методики та підходи до математичного моделювання процесу буріння. Також включено детальний огляд структури управління процесом буріння та аналіз систем керування шарошковим бурінням.

Другий розділ зосереджується на аналізі основних факторів, що впливають на ефективність технологічного процесу шарошкового буріння. В цьому контексті розглядаються критерії оптимізації процесу, процес буріння як об'єкт управління, функціональні зв'язки між параметрами моделі процесу, фізична сутність цих зв'язків, та вплив технологічних параметрів на зношування вузлів долота.

Третій розділ роботи охоплює дослідження впливу технологічних параметрів процесу буріння на механічну швидкість і прохідку долота, що є ключовим для підвищення ефективності ведення буропідливних робіт. Особлива увага приділена методам розрахунку оптимальних параметрів буріння, що забезпечують максимальну продуктивність і економічну ефективність процесу.

ABSTRACT

The work is devoted to a detailed analysis and optimization of drilling and blasting technologies in quarries, emphasizing the improvement of design and management processes. The first chapter examines the peculiarities of the technology of drilling in quarries, the state of drilling equipment, the analysis of domestic and international experience in the optimization of drilling modes, as well as various methods and approaches to mathematical modeling of the drilling process. Also included is a detailed overview of the drilling process control structure and analysis of core drilling control systems.

The second section focuses on the analysis of the main factors affecting the efficiency of the technological process of core drilling. In this context, the process optimization criteria, the drilling process as a management object, the functional relationships between the parameters of the process model, the physical essence of these relationships, and the influence of technological parameters on the wear of bit nodes are considered.

The third section of the work covers the study of the influence of the technological parameters of the drilling process on the mechanical speed and the passage of the bit, which is the key to improving the efficiency of drilling and blasting operations. Special attention is paid to methods of

calculating optimal drilling parameters that ensure maximum productivity and economic efficiency of the process.