

# OPTIMIZATION OF ROCK DESTRUCTION PARAMETERS WHEN DRILLING WELLS

*O. Polituchyi<sup>1</sup>\*, A. Golev<sup>1</sup>*

*Department of Drilling and Geology, Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic National University  
Poltava, Ukraine*

*\* Responsible author: [o.polituchyi@gmail.com](mailto:o.polituchyi@gmail.com)*

**Abstract.** Mathematical models of optimization of rock destruction process during well drilling are considered. In most models, the criterion for optimization is the speed of mechanical drilling. According to the authors, this criterion does not allow optimal use of chisels. A method for determining the energy consumption of the process by measuring technological parameters is proposed. The optimization criterion is the minimum value of process energy consumption.

**Key words:** drilling, drill bit, rock, optimization

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ПРИ БУРІННІ СВЕРДЛОВИН

*О.І. Політучий<sup>1</sup>\*, А.О. Голєв<sup>1</sup>*

*Кафедра буріння і геології, національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна*

*\* Відповідальний автор: [o.polituchyi@gmail.com](mailto:o.polituchyi@gmail.com)*

**Анотація.** Розглянуті математичні моделі оптимізації процесу руйнування гірської породи при бурінні свердловин. В більшості моделей критерієм оптимізації є механічна швидкість буріння. На думку авторів такий критерій не дає можливості оптимально використати породоруйнівний інструмент. Запропонований спосіб визначення енергоємності процесу за допомогою вимірювання технологічних параметрів. При цьому критерієм оптимізації являється мінімальне значення енергоємності процесу.

**Ключові слова:** буріння, долото, гірська порода, оптимізація

**Метод визначення енергоємності процесу буріння як критерія його оптимізації.**

Пошуку оптимального співвідношення режимно-технологічних параметрів процесу буріння свердловин, якими є *осьове навантаження на долото, частота обертання долота, продуктивність промивної рідини*, завжди приділялась велика увага. Так в період з 1932 по 1940 роки аспірантом, а потім директором Грозненського науково-дослідного інституту Федоровим В.С. була отримана емпірична залежність механічної швидкості буріння від регульованих параметрів

$$V_M = an^x G^y; \quad (1)$$

де  $a, x, y$  – коефіцієнти, які залежать від характеристики гірської породи і способу буріння;

$n$  – частота обертання долота;

$G$  – навантаження на долото.

Так, наприклад, за даними Л. І. Штурмана при турбінному бурінні в породах Каширської світи  $x = 0,7$ ;  $y = 1,1$ ;  $a = 0,0024$ .

В подальшому з метою оптимального управління технологічним процесом буріння було розроблено багато математичних моделей і методик (Шишкін О.П., Погарский А.А., Леонов О.Г., Ейфелем Р.М., Бревдо Г.Д., Гулізаде М.П., Галле - Вудс, Янг і ін.).

Так автори робіт [1,7] запропонували такі моделі:

$$V_t = V_0 e^{-kt}; \quad V_t = V_0 (1 + \alpha t)^{-p}; \quad V_t = V_0 (1 + \alpha t)^m; \quad (2)$$

де  $k, p, m$  – коефіцієнти, котрі підбираються експериментально;

$V_0$  – початкова механічна швидкість буріння;

$t$  – поточний час.

Подібні вирази справедливі тільки в тому випадку, коли геолого-технічні умови не змінюються, що на практиці зустрічається рідко. Крім того у міру зношування долота механічна швидкість знижується, питома навантаження на породу також зменшується. Автор роботи [5] стверджує, що ефективність об'ємного руйнування породи шарошковим долотом досягається за умови:

$$G = \alpha p_{\text{ш}} S_k \quad (3)$$

де  $G$  – навантаження на долото;  
 $\alpha$  – факторний коефіцієнт;  
 $p_{\text{ш}}$  – твердість породи при вдавлюванні штампа;  
 $S_k$  – сумарна площа опорних зубів.

При  $P_{\text{ш}} S_k \leq G$  процес проходить у зоні об'ємного руйнування, при  $P_{\text{ш}} S_k > G$  – у зоні руйнування від утомлюваності, або навіть в зоні стирання. Завдання визначення механічної швидкості у зв'язку зі зміною площі контакту опорних зубів висвітлено в роботах [8,10].

У результаті навантаження й обертання на долоті утворюється обертальний момент. На усті свердловини контролюється сумарний момент, що утворюється за рахунок моменту на долоті та моменту обертання бурильної колони. Завдання бурильника - знайти оптимальне значення перших двох параметрів за яких поглиблення буде результативним. При цьому критерієм, як правило, є механічна швидкість поглиблення, яка на думку автора не може бути оптимальним критерієм, оскільки невідомим є інтенсивність зношування породоруйнівного інструменту.

Автор роботи [3] стверджує, що застосування інтелектуальних систем при бурінні нафтових та газових свердловин уможливить ефективне вирішення ряду завдань: зменшення ступеня зношеності бурового долота; зменшення кількості спуско-підймальних операцій, необхідних для заміни зношених доліт; збільшення часу експлуатації долота; підвищення механічної швидкості проходки; покращення контролю за спрямованістю стовбура свердловини; зменшення вібрацій бурової колони і потенційного зменшення кількості та частоти відмов обладнання на вибої; зниження проявів втрати циркуляції бурового розчину і зменшення часу, необхідного для вирішення нештатних ситуацій, пов'язаних з втратою циркуляції; зменшення часу, необхідного на виконання ловильних операцій; зниження частоти прихоплення бурових труб; зменшення часу, необхідного для вирішення проблеми осипання стовбура свердловини та скручування бурової колони.

Така функціональність може бути забезпечена шляхом побудови інтелектуальної системи на основі ієрархії баз даних та знань про нафтогазові об'єкти з використанням чітких та нечітких правил в основі механізму логічного висновку.

Аналогічну систему запропоновано в роботі [2] де для детальної характеристики роботи бурової бригади необхідно за допомогою розробленої комп'ютерної системи з контрольованого пункту, тобто з бурової установки, автоматично передавати на диспетчерський пункт інформацію: 1) фактичну глибину забою свердловини; 2) види і тривалість всіх можливих технологічних процесів (операцій) на буровій; 3) деякі технологічні параметри (по запиті). Враховуючи отриману інформацію, можна зробити висновок про хід виконання буровою бригадою поставлених завдань та дотримання технологічних рекомендацій (наприклад, по механічній швидкості, проходці на долото, часу рейса та ін.), що дозволить забезпечити виконання планових завдань по проходці і здача свердловини з мінімальними затратами і високою якістю.

В роботі [6] для опису складних процесів руйнування гірських порід використано безрозмірний енергетичний критерій

$$h = \frac{W}{Mv_p^2}; \quad (4)$$

$$W = \alpha(V)[V_0 + W_k, \quad (5)$$

де  $M = \rho V$ ;  $[U_0 + W_k]$  – сума відповідно потенційних та кінетичних енергій елементів конструкції гірських порід в зоні руйнування;  $\alpha(V)$  – коефіцієнт вибухового ефекту,  $V$  – об'єм фокусної зони,  $\rho$  – густина породи,  $v_p$  – швидкість хвилі.

Отже, рівняння (4) і (5) дозволяють надати кількісну оцінку оптимального енергетичного діапазону.

При розрахунку енергетичного критерію [4] об'ємного руйнування гірської у процесі буріння необхідна інформація про питому вагу руди і гірських порід у поєднанні із значенням поздовжньої швидкості

$$k = \frac{E(t)\alpha}{V_p(t)\rho v_p^2}, \quad (6)$$

де  $E(t)$  – енергія, що витрачається буровим інструментом для руйнування породи у контрольній ділянці свердловини;  $\alpha$  – розрахунковий коефіцієнт сейсмічного впливу підземних вибухових робіт;  $V_p(t)$  – обсяг розбитої породи у контрольній ділянці свердловини. Серед керованих параметрів процесу буріння виділяють відношення навантаження на долото до його діаметру та частоту обертання. Залежність швидкості буріння від зазначених вище параметрів та з урахуванням зносу робочої поверхні долота має вид

$$\frac{dF}{dt} = f\left(\frac{W}{d_b}, N, h\right), \quad (7)$$

де  $F$  – швидкість проникнення,  $h$  – знос висоти долота,  $N$  – частота обертання долота.

Математична модель, яка появилася в поточному році [8], де в якості базової прийнята модель, в якій для механічної швидкості використана допрацьована модель А.А. Погарського.

$$V_M = \frac{nG^2Q}{(1+b_n n^4)(1+b_G G^4)(1+b_Q Q^4)}; \quad (8)$$

Обмеження моделі:

$$G_{\min} \leq G \leq G_{\max}; n_{\min} \leq n \leq n_{\max}; Gn \leq N_{\Pi}; P_c Q \leq N_p; \quad (9)$$

де:  $V_M$  – механічна швидкість проходки;  $k_b$  – коефіцієнт буримості породи;  $G$  – осьове навантаження на долото;  $n$  – швидкість обертання долота;  $Q$  – витрата бурового розчину на вході;  $b_n, b_G, b_Q$  коефіцієнти, що визначають форму кривої  $v_M = f(G, n, Q)$ ;  $G_{\min}, G_{\max}$  – мінімальна і максимальна навантаження на долото;  $n_{\min}, n_{\max}$  – мінімальна і максимальна швидкість обертання долота;  $N_{\Pi}$  – механічна потужність приводу на долоті;  $N_p = Q \cdot P_c$  – потужність приводу на долоті;  $P_c$  – тиск розчину в стояку. Основним в даній моделі є критерій "максимум механічної швидкості проходки  $V_M = \max$ ", де проводиться оптимізація процесу буріння з допомогою цільової функції.

Перелічені і інші моделі в якості критерія визначають механічну швидкість буріння, з чим можна не погодитися, оскільки максимальна швидкість може приводити до завчасного руйнування породоруйнівного інструменту, тому пропонується спосіб контролю зносу останнього на основі визначення енергоємності процесу руйнування породи. В способі використовується той факт, що інтенсивність зносу в часі залежить від опору породи її механічному руйнуванню. Кожен масив гірської породи характеризується своїм значенням енергоємності  $E_i$  і часом, необхідним для її руйнування  $dt$  і визначається підведеною до долота потужністю  $N_d$  та товщиною пласта.

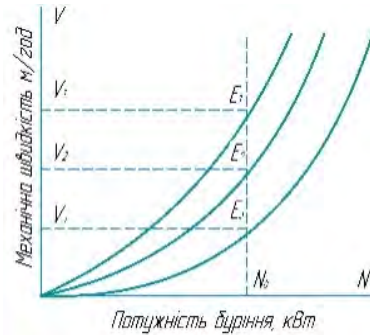


Рис.1 Залежність  $V_M=f(N)$

Таким чином міра зносу долота пов'язана з енергоємністю процесу і часом роботи його на вибої. На рисунку 1 показана залежність механічної швидкості буріння від підведеної потужності для різних значень енергоємності гірської породи. Задача контролю поточного значення зносу долота при бурінні зводиться в першу чергу до поінтервального виміру енергоємності процесу і часу проходки однорідного пласта.

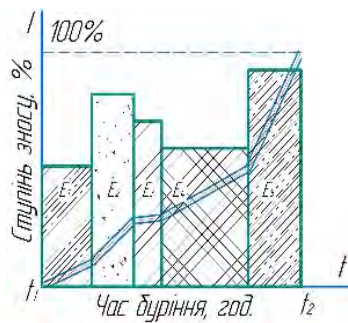


Рис.2 Залежність  $I=f(t)$

Оскільки геологічний розріз свердловини, як правило, складається з різноманітних відкладів (рис.2) енергоємність яких відрізняється, то й ступінь зносу долота в різних пластах буде різною. Енергоємність процесу визначаємо як витрати енергії на одиницю об'єму породи, тобто об'ємну енергоємність породи. Інтегруючи енергоємність процесу в часі отримується енергоздатність долота

$$E_d = \int_{t_1}^{t_2} E_M dt; \quad (10)$$

Миттєве значення енергоємності процесу визначається через підведену потужність і механічну швидкість буріння  $V_M$

$$E_M = \frac{N_d}{\pi R^2 V_M} \frac{дж}{м^3}; \quad (11)$$

де  $\pi R^2$  – площа вибою свердловини.

При бурінні свердловини, вимірюючи технологічні параметри, визначається підведена до долота потужність

$$N_d = M_d \omega;$$

де  $M_d$  – момент на долоті;

$\omega$  – кутова швидкість обертання долота,

$$M_d = M_p - M_{xo};$$

де  $M_p$  – момент на роторі;

$M_{xo}$  – момент холостого обертання бурильної колони.

За критерій поглиблення свердловини потрібно брати мінімум енергоємності процесу буріння:

$$E_M = \frac{4G\omega D}{3\pi D^2 V_M} = \frac{8Gn}{3DV_M} \quad (12)$$

де  $n$  – частота обертання долота;

$G$  – навантаження на долото;

$D$  – діаметр долота;

$V_M$  – механічна швидкість буріння.

Накопичені дані по енергоздатності доліт можна використовувати для оперативного визначення зносу останніх

$$I = \frac{1}{E_d} \sum_{i=1}^n E_i \Delta t_i = \frac{1}{E_d} \int_{t_1}^{t_2} E_M dt; \quad (13)$$

Запропонована модель була реалізована в програмно-апаратному комплексі «Корунд» і випробувана в умовах буріння свердловин в ДГП «ЧНГГ».

## REFERENCES

1. Воздвиженский Б.И., Мельничук И.П., Пешаков Ю.А. (1973). Физико-механические свойства горных пород и влияние их на эффективность бурения. Москва: Недра  
Vozdvigenskiy B.I., Melnichuk I.P., Peshakov Y.A. (1973). Fiziko-mehaniicheskie svoystva gornih porod i vlijnie ih na effektivnost burenij. Moskva: Nedra
2. Гуменюк Т.В., Кропивницька В.Б., Ткачівський Д.О. (2010). Методи ідентифікації станів бурової установки. Хмельницький: Вісник №1 Хмельницького національного університету.  
Gumeniuk T.V., Kropivnicka V.B., Tkachivskiy D.O. (2010). Metodi identifikacii staniv burovoi ustanovki. Hmelnicky: Visnik №1 Hmelnickogo universitetu.
3. Демчина М.М. (2012). Імплементация концепцій штучного інтелекту в технологічних процесах буріння нафтових і газових свердловин. Івано-Франківськ: Науковий вісник ІФНТУНГ № 3.  
Demchina M.M. Implementaciy koncepciy shtuchnogo intelektu v tehnologichnih procesah burinnia naftovih i gazovih sverdrovin. Ivano-Frankivsk: Naukoviy visnik IFNTUNG №3.
4. Дреус А.Ю. (2018). Теплофізичні основи знеміцнення гірських порід при алмазному бурінні свердловин. Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».  
Dreus A.J. (2018). Teplofizichni osnovi znemicnennj girskih porid pri almaznomu burinni sverdrovin. Dnipro: Nacionalniy tehnicnij universitet "Dniprovskaya politehnika".
5. Корюшкин И.Т. (1971). Исследование работы шарошечного долота на забое. Москва: ВНИИОЭНГ.  
Korushkin I.T. (1971). Issledovanie raboti sharoshechnogo dolota na zaboe. Moskva: VNIIOENG.
6. Мокрун В.С., Мокрун Н.В., Тронь В.В., Гапоненко А.А., Гапоненко І.А., Паранюк Д.І., (2020). Методи оптимізації процесу буріння свердловин. Кривий ріг: Гірничий вісник, випуск 107.  
Mokrun V.S., Mokrun N.V., Tron V.V., Gaponenko A.A., Gaponenko I.A., Paranyuk D.I. (2020). Metodi optimizacii procesu burinnia sverdrovin. Kriviy rig: girnichy visnik vipusk 107.
7. Шандина В.М. (1970). Влияние площади контакта зубьев долота с породой на эффективность его работы. Москва: ВНИИОЭНГ.  
Shandina V.M. (1970). Vliyanie ploschadi kontakna zubiev s porodoy na effektivnost ego raboti. Moskva: VNIIOENG.
8. Цуприков А.А. (2021). Интеллектуальная система адаптивного управления технологическим процессом бурения нефтяных и газовых скважин. Краснодар: ФГБОУ ВО «КубГТУ», автореферат.  
Cuprikov A.A. (2021). Intelektualnaya sistema adaptivnogo upravleniya tehnologicheskim procesom bureniya nefnianih i gazovih skvajin. Krasnodar: FGBOU VO "Kub GTU".