

ЕНЕРГОЗАТРАТИ У ПРОЦЕСІ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН ДОЛОТАМИ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ

І.І.Чудик, В.Р.Процюк, І.В.Підберезький

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 45560,
e-mail: chudoman@ukr.net

Проведено теоретичні дослідження пропускної здатності різьбових з'єднань бурильних замків та втрат гідравлічної енергії бурового насоса під час промивання свердловини. Визначено вплив окремих конструктивних та режимно-технологічних чинників процесу на витік бурового розчину крізь різьбові з'єднання бурильної колони. Запропоновано шляхи зменшення втрат гідравлічної енергії під час промивання свердловини.

Ключові слова: різьбове з'єднання, втрата енергії, витік бурового розчину

Проведены теоретические исследования пропускной способности резьбовых соединений бурильных замков и потерь гидравлической энергии бурового насоса при промывке скважины. Установлено влияние некоторых конструктивных и технологических аспектов процесса на выток бурового раствора сквозь резьбовые соединения бурильной колонны. Предлагаются пути уменьшения потерь гидравлической энергии при промывке скважины.

Ключевые слова: резьбовое соединение, потери энергии, выток бурового раствора

The theoretical investigations of threaded drill pipe joints flow capacity and mud pumps hydraulic power losses during the well flushing are carried out. The effect of some design and technological factors of the process on mud leaks across threaded joints of drill string is defined. The ways of hydraulic energy losses reduction during well flushing are proposed.

Keywords: threaded joint, energy loss, mud leak

На сьогодні у процесі буріння свердловин використовують шарошкові, алмазні та твердосплавні долота, оснащені, здебільшого гідромоніторною системою промивання. У світовій практиці спорудження свердловин найбільшого поширення набули шарошкові долота, які характеризуються високими параметрами стійкості, і надійності та задовольняють високим техніко-економічними показниками буріння. Із розширенням обсягів буріння основну увагу було сконцентровано на збільшенні проходки доліт і розробці для цього техніки та відповідних технологій, що значно збільшило енергозатрати. У процесі буріння свердловини енергоносіями є електроенергія та дизпаливо, ціни яких на сьогодні зросли в десятки разів, а показники буріння залишилися майже незмінними. Оскільки вартість одного джоуля енергії є складовою частиною собівартості метра проходки [1, 2], то для зменшення вартості спорудження свердловин необхідно переглянути доцільність використання окремих технічних засобів та технологій буріння з огляду на критерій мінімальних енергозатрат. На сьогодні в даному напрямі проведено низку досліджень з руйнування гірської породи різними за конструктивним виконанням буровими долотами [3], де увага акцентована здебільшого на їх моментоемності, можливості збільшення проходки і її довговічності. Проте при цьому до уваги не бралися енергозатрати як один із основних на сьогодні критеріїв оцінки ефективності використання обладнання, технології і їх поєднання.

Бурове долото у процесі буріння споживає більшу частку загальновитраченої енергії, а саме:

$$E = E_G + E_M, \quad (1)$$

де E_G і E_M – гідравлічна і механічна складові енергозатрат, що витрачаються на долоті.

Виразивши залежність (1) через техніко-технологічні чинники процесу буріння, отримуємо:

$$E = (Q \cdot P_{\text{ДОЛ}} + M_{\text{ДОЛ}} \cdot \omega) \cdot \frac{h_{\text{ДОЛ}}}{V_{\text{МЕХ}}}, \quad (2)$$

де: Q і $P_{\text{ДОЛ}}$ – подача насоса і втрати тиску в насадках долота;

$h_{\text{ДОЛ}}$ і $V_{\text{МЕХ}}$ – проходка на долото та механічна швидкість буріння свердловини ($V_{\text{МЕХ}} = \text{const}$);

$M_{\text{ДОЛ}}$, ω – момент опору та кутова швидкість обертання долота на вибої свердловини.

Тут

$$P_{\text{ДОЛ}} = 2\rho_{\text{БР}} \left[\frac{2 \cdot Q}{b \cdot \pi \cdot n \cdot d_H^2} \right]^2, \quad (3)$$

де: $\rho_{\text{БР}}$ – густина бурового розчину;

b – коефіцієнт витрати насадок долота;

n , d_H – кількість та діаметр насадок долота.

У разі використання в процесі буріння свердловини двох однотипних доліт, оснащених різними промивними системами за однакових

гірничо-геологічних за умов проходки, з передаванням на них однакової за величиною енергії, отримуємо таку рівність:

$$\frac{Q \cdot P_{\text{ДОЛ1}} + M_{\text{ДОЛ}} \cdot \omega}{V_{\text{МЕХ1}}} = \frac{Q \cdot P_{\text{ДОЛ2}} + M_{\text{ДОЛ}} \cdot \omega}{V_{\text{МЕХ2}}} \quad (4)$$

З даної рівності отримуємо:

$$V_{\text{МЕХ2}} = \frac{(Q \cdot P_{\text{ДОЛ2}} + M_{\text{ДОЛ}} \cdot \omega) \cdot V_{\text{МЕХ1}}}{(Q \cdot P_{\text{ДОЛ1}} + M_{\text{ДОЛ}} \cdot \omega)} \quad (5)$$

За залежністю (5) визначається механічна швидкість буріння свердловини, необхідна для проходки гідромоніторним долотом «2» із затратами енергії, рівними для породоруйнівного інструмента з боковою та центральною системою промивання «1».

Зі збільшенням глибин буріння свердловин, не зважаючи на високий рівень сучасних конструкцій, тришарошкові долота не завжди задовольняють вимогам, які ставлять до породоруйнівного інструменту. Так, для буріння на великих глибинах необхідно використовувати долота малих діаметрів. Відповідно, у разі зменшення його діаметра пропорційно змінюються розміри шарошок, його опор та робочі навантаження на нього. Це обумовлює зменшення часу роботи долота на вибої свердловини та погіршення умов руйнування гірських порід. Одним із шляхів вирішення даної проблеми могли б стати використання одношарошкових доліт, які порівняно із тришарошковим, володіють низкою суттєвих переваг [3]:

- 1) мають значно більші геометричні розміри, шарошки та опори;
 - 2) можуть сприймати більші осьові і радіальні навантаження;
 - 3) володіють більшою механічною швидкістю буріння;
 - 4) оснащені асиметричною схемою промивання вибою свердловини.
- Незважаючи на наведені переваги, від їх широкого використання на практиці буріння відмовилися, опираючись на такі основні вади:
- неможливість використання гідромоніторної системи промивання;
 - значно більша моментоемність ніж у тришарошкових доліт;
 - складність управління траєкторією долота внаслідок його поганого центрування на вибої;
 - збільшення імовірності утворення виткоподібного профілю навіть під час буріння вертикальної свердловини;
 - неможливість використання великих подач бурового розчину, як основного чинника збільшення механічної швидкості буріння.

Одношарошкове долото оснащено одним промивальним каналом, крізь який буровий розчин подається на вибій свердловини, омиваючи оснащення породоруйнівного інструменту.

За однакових швидкостей витікання бурового розчину із насадок для одно- і тришарошкового доліт характерною є таке співвідношення:

$$\frac{Q_{\text{III}}}{Q_{\text{I}}} = \frac{n \cdot d_{\text{H(III)}}^2}{d_{\text{H(I)}}^2} = K, \quad (6)$$

де (I) та (III) відповідно характеризує для одно- і тришарошкове долото.

За залежністю (3) втрати тиску в одношарошковому долоті, порівняно із тришарошковим за однакової подачі зменшаться в K^2 разів, затрати гідравлічної енергії – в K^3 , а загальні енергозатрати – на $\Delta E_{\text{III-I}}$:

$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{III-I}} &= E_{\text{III}} - E_{\text{I}} = \\ &= Q_{\text{I}} \cdot P_{\text{I}} \cdot (K^3 - 1) + (M_{\text{III}} - M_{\text{I}}) \cdot \omega, \end{aligned} \quad (7)$$

де M_{I} та M_{III} – моменти на обертання долота в процесі буріння.

З метою кількісної і якісної оцінки споживання потужності привода різними за конструктивними ознаками бурових доліт у процесі бурінні свердловин проведемо дослідження за такими вихідними даними:

1. Густина бурового розчину $\rho_{\text{БР}}$, кг/м^3 – 1200 .
2. Частота обертання доліт $n_{\text{Д}}$, об/хв – 60 .
3. Кількість насадок долота n_{III} , n_{I} – 3, 1
4. Діаметри насадок d_{HIII} , d_{HI} , м – 0.01, 0.03 .
5. Коефіцієнт витрати насадок b , μ – 0.95; 0.66
6. Механічна швидкість буріння $V_{\text{МЕХ I}}$, м/год – 2 .

В результаті проведених розрахунків отримано ряд графічних залежностей (рис. 1-3).

На основі проведених досліджень та даних графічних залежностей встановлено.

1. За однакових значень витраченої енергії збільшення подачі бурового насоса, а отже і втрат гідравлічної енергії в насадках долота зумовлює необхідність отримання більшої (у кілька разів) механічної швидкості буріння. Це стосується безпосередньо гідромоніторних

Таблиця 1 – Моментоемність бурових доліт різних конструкцій [3]

Швидкість обертання долота, об/хв	Навантаження на долото, кН	Тришарошкове долото (Ø 140 мм)	Фрезерне долото (Ø 140 мм)	Одношарошкове долото (Ø 140 мм)
67	20	750	5450	2450
	40	1550	12500	5300

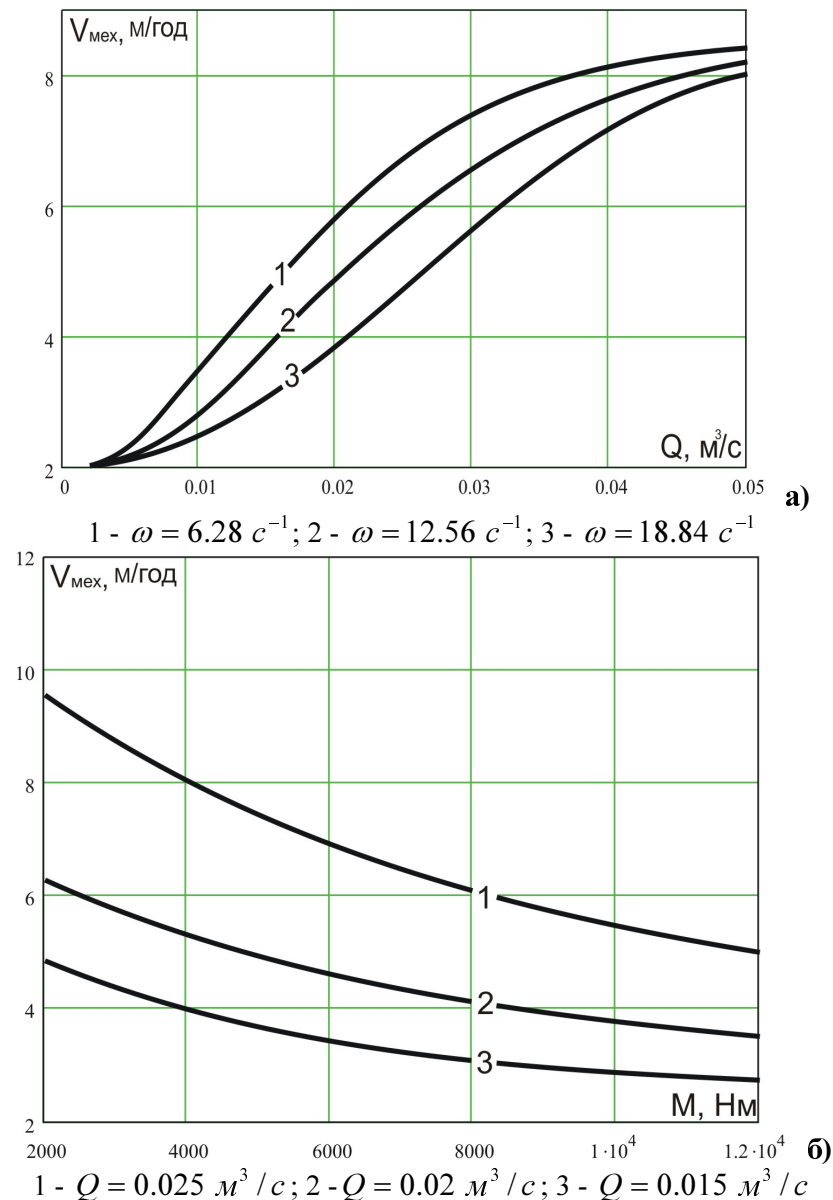


Рисунок 1 – Залежність механічної швидкості буріння від подачі насоса та моменту опору обертання на гідромоніторного долота

доліт. Так, для енергоефективного використання гідромоніторного долота потрібно в процесі буріння отримати збільшення механічної швидкості буріння в 2–4 рази (рис. 1, а) порівняно із простою боковою або центральною системами промивання. У разі використання таких доліт зменшення загальних енергетичних затрат можливе за більших швидкостей їх обертання (рис. 1, а). Адже в діапазоні зміни реальної подачі насоса (15–45) л/с у разі збільшення ω у тричі енергозатрати зменшуються від 15 до 50 %.

2. Енергоефективне використання шарошкових доліт із ущільненими опорами (які в 2–4 рази збільшують величину M) та різною системою промивання (гідромоніторна, бокова або центральна) потребує збільшення механічної швидкості в 1,4 – 2 рази (з умови рівності витраченої енергії) при $Q = \text{const}$ (рис. 1, б). А

збільшення подачі насоса Q посилює цю різницю і необхідність різкого підвищення механічної швидкості буріння.

3. У разі використання одно-, тришарошкового гідромоніторного та фрезерного доліт за однакових режимно-технологічних параметрів буріння отримано графічну залежність (рис. 2) зміни затраченої потужності на обертання долота $N(Q)$ і встановлено, що одношарошкове долото характеризується найменшими затратами потужності під час буріння свердловини. За значень Q від 10 до 40 л/с затрати потужності для тришарошкового долота збільшуються від 0 до 1100 кВт, що перевищує відповідний показник для одношарошкового долота на 80%. Фрезерний породоруйнівний інструмент характеризується найбільшими значеннями затрат потужності у процесі буріння і, як вище встановлено, для ефективного його використання з

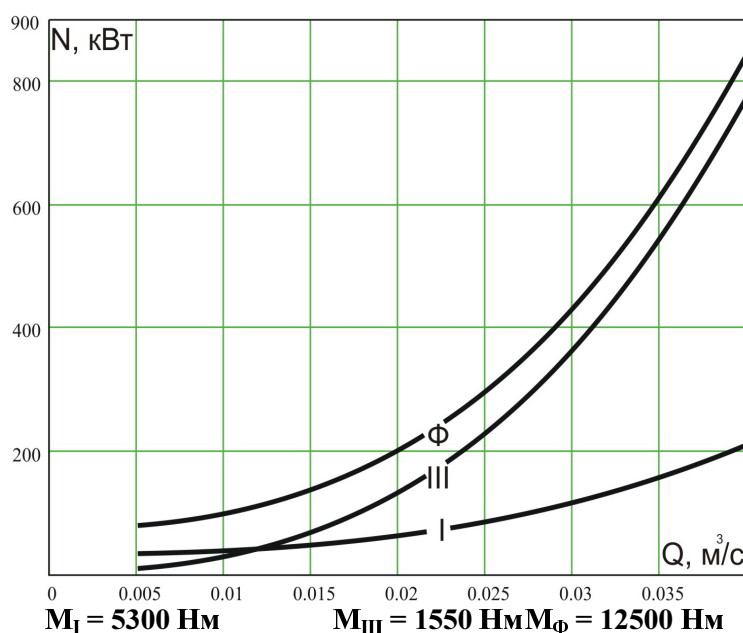


Рисунок 2 – Залежність величини втрат потужності під час обертання одно- (I), тришарошкового (III) і фрезерного (Φ) доліт від подачі насоса

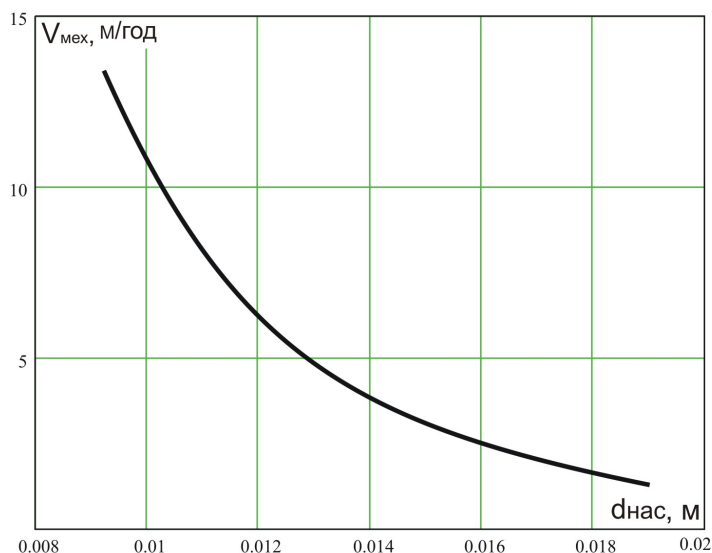


Рисунок 3 – Зміна механічної швидкості буріння від діаметрів насадок долота з умови енергоефективного його використання

точки зору енергозатрат необхідним чинником є висока механічна швидкість буріння.

4. При дослідженні залежності діаметрів насадок доліт з боковим промиванням на зміну механічної швидкості буріння при умові мінімальних енергозатрат (рис. 3) встановлено, що їх збільшення зумовлює різке зменшення V_{MEX} . Даний факт є свідченням того, що бурове долото з гідромоніторною системою промивання є дуже енергоємним елементом, і зменшення енергозатрат при його використанні можливе за малих подач насоса, збільшенні діаметрів насадок та їх кількості, а також у разі збільшення механічної швидкості буріння.

Література

- 1 Симонянц Л. Разрушение горных пород и рациональная характеристика двигателей для бурения [Текст] / Л. Симонянц. – М.: Недра, 1966. – 225 с.
- 2 Кирия Т. Совершенствование проходки глубоких скважин [Текст] / Т. Кирия. – М.: Недра, 1971. – 167 с.
- 3 Одношарошковые долота [Текст] / [А. В. Зубарев, Г. И. Матвеев, Ю. В. Рыжиков та ін.]. – М.: Недра, 1971. – 176 с.

Стаття поступила в редакційну колегію
05.11.09

Рекомендована до друку професором
Я. С. Коцуличем