

УДК 622.24.05

КОНТРОЛЬ ТРІЩИНУВАТОСТІ БУРИМОЇ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ*Л.М. Заміховський, О.А. Шаповал*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м Івано-Франківськ, 76019, тел.: (03422)72-71-72,
e-mail: ktsu.nung@gmail.com*

Проведено аналіз методів контролю тріщинуватості гірської породи при бурінні свердловин. Проведені дослідження спрямовані на визначення найбільш інформативних параметрів роботи електропривода, які характеризують динамічну взаємодію бурильної колони та буримої гірської породи. Встановлено, що найбільш чутливими до зміни навантаження на валу є активна потужність і струм у колі живлення електродвигуна. В результаті досліджень виконано схемне опрацювання функціонування вузлів приладу контролю тріщинуватості буримої породи ПКТП. Розробка приладу виконана згідно алгоритмів математичної моделі. Прилад ПКТП призначений для визначення показників тріщинуватості породи безпосередньо в процесі буріння. В результаті лабораторних досліджень і випробувань у виробничих умовах розробленого приладу контролю ПКТП отримані вихідні дані, в результаті обробки яких визначені статистичні характеристики показників тріщинуватості буримої породи. Виробничими випробуваннями встановлено, що розроблений прилад контролю дає можливість отримати об'єктивну оцінку стану буримої породи за тріщинуватістю.

Ключові слова: бурима порода, тріщинуватість, електропривід, частота обертання, контроль, струм, потужність, крутний момент, кореляція, структурна схема.

Проведен анализ методов контроля трещиноватости горной породы при бурении скважин. Проведены исследования, которые направлены на определение наиболее информативных параметров работы электропривода, характеризующих динамическое взаимодействие бурильной колонны и буримой горной породы. Установлено, что наиболее чувствительными к изменению нагрузки на валу является активная мощность и ток в цепи питания электродвигателя. В результате исследований выполнено схемную обработку функционирования узлов прибора контроля трещиноватости буримой породы ПКТП. Разработка прибора выполнена согласно алгоритмов математической модели. Прибор ПКТП предназначен для определения показателей трещиноватости породы непосредственно в процессе бурения. В результате лабораторных исследований и испытаний в производственных условиях разработанного прибора контроля ПКТП получены исходные данные, в результате обработки которых определены статистические характеристики показателей трещиноватости буримой породы. Производственными испытаниями установлено, что разработанный прибор контроля дает возможность получить объективную оценку состояния буримой породы по трещиноватости.

Ключевые слова: буримая порода, трещиноватость, электропривод, частота вращения, контроль, ток, мощность, крутящий момент, корреляция, структурная схема.

The analysis of the control methods of fracturing rock during drilling. Method for determination of fracture of borehole cores is the most common. Found that the most sensitive to changes in the load on the shaft is the real power and current in the power supply circuit of the motor. The studies carried out the operation processing circuit nodes monitoring device Burimov fractured rock PKTP. Development of the device is made according to the algorithms of the mathematical model. Device PKTP is a useful indicator of fracturing rock directly in the drilling process. As a result of laboratory research and testing in a production environment developed device control PKTP obtained raw data from the treatment of the statistical characteristics of which are defined indicators Burimov fracturing rock. Production tests found that the developed monitoring device makes it possible to obtain an objective assessment of the breed Burimov fracturing.

Keywords: rock drilled, fracture, electric, speed, control, current, power, torque, correlation, block diagram.

Підвищення ефективності буріння в тріщинуватих породах забезпечується правильним вибором частоти обертання породоруйнівного інструменту та осьового навантаження на початку рейсу. Як показали дослідження проф. Є.О. Козловського [1], при бурінні в тріщинуватих породах установками з плавним регулюванням частоти обертання породоруйнівного інструменту проходка за рейс може бути значно підвищена. При бурінні в тріщинуватих породах значно збільшується крутний момент. Як показали експериментальні дослідження [1, 2], при бурінні в інтенсивно тріщинуватих породах крутний момент збільшується у два з половиною рази у порівнянні з бурінням в слабо тріщинуватій породі. Всі рейси, проведені в інтенсивно тріщинуватих породах, перериваються передчасно у зв'язку із самозаклинюваннями керна. При цьому механічна швидкість проходки різко знижується. При проходці тріщинуваті породи істотно зростають коливальні рухи бурильної колони.

При високій тріщинуватості породи збільшення осьового навантаження приводить до підвищеної витрати алмазів, при цьому механічна швидкість буріння знижується. Так, при бурінні у слабо тріщинуватій породі з осьовим навантаженням 10кН і частотою обертання снаряда 150хв^{-1} механічна швидкість склала 0,71м/год, тоді як у середньо тріщинуватих породах при осьовому навантаженні 12кН механічна швидкість знизилася до 0,31м/год [1]. Відповідно зросла витрата алмазів з 0,39карат/м до 1,08карат/м. Якщо в слабо тріщинуватих породах крутний момент не перевищував 120Нм, то при середньо тріщинуватих породах крутний момент зріс від 250 до 400Нм. При підклинюванні керна величина крутного моменту різко зростає і досягає 600Нм.

При оперативному керуванні процесом буріння істотним недоліком є недостатнє оснащення бурових установок апаратурою контролю. Відсутність постійного та об'єктивного контролю ряду параметрів (крутного моменту на трубах, витрати промивної рідини, швидкості обертання породоруйнівного інструменту та ін.) не дозволяє визначати під час проходки свердловини безперервно і з достатньою достовірністю деякі найважливіші техніко-економічні показники ефективності процесу буріння (рейсову швидкість, середню механічну швидкість, оптимальне осьове навантаження, працездатність породоруйнівного інструменту, вартість метра проходки та ін.). Тому розробка ефективних методів і засобів контролю технологічних параметрів є досить актуальним завданням [3].

Тріщинуватість гірських порід характеризується сукупністю тріщин, особливістю їх структурного складу, просторовою однорідністю та анізотропією властивостей. Вона визначається густотою розташування тріщин, кількістю систем тріщин та їх взаємним розташуванням [4]. Можливість отримання інформації про тріщинуватість гірських порід на глибині дуже обмежена. Тому одним з основних методів, що дозволяють прогнозувати тріщинуватість за глибиною, є паралельне вивчення тектонічної тріщинуватості та вплив закономірностей її розвитку поверхнею і на глибині з наступним порівняльним аналізом [4, 5].

Існує кілька методів визначення ступеня тріщинуватості гірських порід. Серед них слід назвати визначення тріщинуватості гірських порід за керном свердловини, літолого-петрографічні, геофізичні, гідродинамічні та інші методи. Метод вивчення тріщинуватості гірських порід за керном свердловини є найбільш поширеним, оскільки дає можливість вивчити тріщинуватість практично на всіх глибинах. Вивчення тріщинуватості порід за керном обмежена тим, що kern дуже важко орієнтувати. Крім того, обсяг керна малий і вихід його зазвичай недостатній. У керні спостерігаються як природні, так і штучні тріщини. За тріщинами kern розвалюється, внаслідок чого ширину тріщин за керном визначити практично неможливо. При обертанні снаряда kern стирається межами тертя і кути перетину тріщин з горизонтом спотворюються. У стінці свердловини тріщини зберігають всі свої розміри неспотвореними або мало спотвореними, але є важкодоступними. Огляд стінок свердловини може бути виконаний лише із застосуванням складних оптичних приладів, досвід застосування яких для масового виміру тріщинуватості недостатній.

Впровадження прогресивних методів пошуків і розвідки корисних копалин тісно пов'язане з розробкою і застосуванням досконалих технічних засобів оцінки стану гірської породи. Одним із способів отримання такої інформації є якісний аналіз реакції електропривода бурового верстата на зміну динамічного опору бурильної колони і руйнівної гірської породи. Зазначений спосіб оснований на залежності електричних параметрів роботи електродвигуна від моменту опору на бурильному валу.

При усередненні сигналу за час, що перевищує період коливань визначається абсолютний рівень затрачуваної на буріння потужності, яка може характеризувати категорію породи за буримістю з урахуванням стану інструменту і витрат енергії в колоні. При цьому фільтруються коливання з більш високими частотами, що виникають від

періодичної взаємодії колони із стінками свердловини. Відхилення сигналу від усередненого значення дає інформацію про різку зміну режиму роботи породоруйнівного інструменту, що відповідає проходженню тріщин. Як зазначається в [5, 6], кількісна оцінка тріщинуватості породи у масиві представляє значні труднощі. Однак навіть наближена їх оцінка вкрай необхідна для інженерно-геологічних і технологічних цілей. Нами проведені дослідження, які спрямовані на визначення найбільш інформативних параметрів режиму роботи електропривода та їх зв'язку з показниками стану буримої породи за тріщинуватістю. У процесі досліджень двигун головного приводу розглядався як електромеханічний перетворювач, навантажений бурильною колоною з ланкою "долото-вибій" на кінці. При цьому динаміка роботи електропривода визначається коливальними властивостями колони, зміною режиму роботи породоруйнівного інструменту, а також динамічними властивостями електродвигуна. При проходці тріщини відбувається короткочасне вивільнення породоруйнівного інструменту. Це збурення передається вгору колоною і приводить до зміни моменту опору на валу електродвигуна, який реагує на зміну навантаження. Реакцію двигуна можна простежити за зміною енергетичних параметрів: споживаної потужності, струму в колі статора, коефіцієнта потужності. Проведені дослідження були спрямовані на визначення найбільш інформативних параметрів роботи електропривода, які характеризують динамічну взаємодію бурильної колони та буримої гірської породи.

Для визначення взаємозв'язку показників тріщинуватості гірських порід з параметрами режиму роботи електропривода були проведені експериментальні дослідження на свердловині № 2309 Кочбулакської ГРП Східно-Куромінської ГРЕ ПГО "Ташкентгеологія" в інтервалі глибин від 98,0 до 300,2 м. Буріння здійснювалося установкою БС-500/800, електроприводом якої є двигун постійного струму типу П-82 потужністю 42 кВт з плавно регульованим тиристорним перетворювачем. При бурінні використовувалися алмазні коронки К-01 діаметром 59 мм, керн відбирався за допомогою снарядів із знімним керноприймачем ССК-59. Визначення тріщинуватості проводилося за наведеною вище методикою, при цьому в процесі експерименту здійснювалося спостереження за параметрами режиму буріння. Середні значення технологічних параметрів процесу буріння та фізико-механічних властивостей розбурюваних гірських порід визначені згідно поділу порід за ступенем

тріщинуватості. Отримані експериментальні дані обсягом 202,2 м опрацьовані методами математичної статистики. Для встановлення взаємозв'язку між параметрами режиму роботи електропривода та тріщинуватістю буримої породи були визначені коефіцієнти взаємної кореляції, матриця яких представлена в табл. 1.

З отриманих результатів розрахунку видно, що коефіцієнт взаємної кореляції між питомою кускуватістю та абсолютною величиною струму навантаження $R_{Wl} = 0,066$, при цьому $t(\Delta l) = 0,14$, а коефіцієнт взаємної кореляції між питомою кускуватістю та величиною зміни струму навантаження $R_{W\Delta l} = 0,443$ і $t(\Delta l) = 2,11$. При прийнятому рівні значимості $p = 0,95$ і числі ступенів вільності $f = 13$ величина $t_{крит} = t_{1-\alpha/2}(f) = 1,8$. Розрахункове значення параметра $t(\Delta l) > t_{крит}$, тому з достовірністю оцінки $p = 0,95$ можна припустити про значимість взаємної кореляції між коефіцієнтом питомої кускуватості буримої гірської породи W та зміною струму навантаження Δl . Отже, за зміною струму навантажень можна судити про ступінь тріщинуватості буримої гірської породи. Як електродвигун головного приводу розглянемо асинхронний електродвигун змінного струму з короткозамкненим ротором. При постійному навантаженні на валу електродвигуна та витраті промивальної рідини вимірювальний сигнал, який пропорційний струму в ланцюзі живлення електродвигуна, споживаної потужності або обертаючого моменту, можна представити у вигляді гармонійного сигналу:

$$u = U_m \sin(\omega t + \alpha - \phi), \quad (1)$$

де $U_m = kI_m$ – амплітуда сигналу; k – коефіцієнт пропорційності; α – початкова фаза; ϕ – фаза сигналу; $\omega = 2\pi f$ – кругова частота.

При бурінні у тріщинуватій породі як амплітуда, так і фаза вхідного сигналу змінюються в часі. При цьому вимірювальний сигнал у загальному вигляді може бути виражений так:

$$u(t) = kI_m(W) \sin[\omega t + \alpha - \phi(W)]. \quad (2)$$

У моменти проходження коронкою тріщин потужність, споживана електродвигуном, зменшується, тому вимірювальний сигнал зручно представити у наступному вигляді:

$$u(t) = [U_{0m} + \Delta U(W)] \sin\{\omega_0 t + \alpha + \phi_0 + \Delta\phi(W)\}, \quad (3)$$

де U_{0m} , ω_0 , ϕ_0 – значення параметрів при проходженні тріщин; $\Delta U(W)$, $\Delta\omega(W)$, $\Delta\phi(W)$ – інформативні змінних параметрів.

Таблиця 1 – Матриця коефіцієнтів взаємної кореляції між технологічними параметрами процесу буріння в тріщинуватих породах

Параметр	Коефіцієнт питомої кускуватості	Коефіцієнт динамічної міцності	Коефіцієнт абразивності	Осьове навантаження	Частота обертання	Струм навантаження електропривода	Інтенсивність зміни струму	Механічна швидкість
Коефіцієнт питомої кускуватості	1,000							
Коефіцієнт динамічної міцності	0,074	1,000						
Коефіцієнт абразивності	0,075	-0,157	1,000					
Осьове навантаження	-0,166	-0,561	-0,426	1,000				
Частота обертання	0,272	-0,300	-0,107	0,396	1,000			
Струм навантаження	-0,066	0,020	-0,088	-0,18	0,496	1,000		
Інтенсивність зміни струму	0,443	-0,140	-0,117	0,272	0,088	-0,423	1,000	
Механічна швидкість	-0,134	-0,334	-0,440	0,724	0,454	-0,187	0,327	1,000

Так як кутова частота вимірювального сигналу при централізованому електропостачанні бурових установок залишається практично незмінною і не залежить від режиму роботи самої установки, то вираз (3) спрощується, тобто

$$u(t) = [U_{om} + \Delta U(W)] \sin[\omega_0 t + \alpha + \phi_0 + \Delta\phi(W)] \quad (4)$$

З урахуванням (4) вимірювальний сигнал для реалізації в пристрої можна представити у такому вигляді:

$$u(t) = k[I_{om} + \Delta I(W)] \sin[\omega_0 t + \alpha + \phi_0 + \Delta\phi(W)] \quad (5)$$

Як було зазначено вище, при бурінні у тріщинуватій породі навантаження на вал електродвигуна носить змінний характер. Для визначення найбільш інформативного параметра нами були проведені лабораторні

дослідження і за їх результатами визначено відносні зміни таких параметрів, як сила струму навантаження, споживана активна потужність і коефіцієнт потужності в залежності від моменту опору на валу електродвигуна. Встановлено, що найбільш чутливими до зміни навантаження на валу є активна потужність і струм у колі живлення електродвигуна. Так як визначення потужності у порівнянні з визначенням струму навантаження, є набагато складніше, а виявлення тріщинуватості визначається тільки наявністю або відсутністю зміни інформативної ознаки, нами як інформативний параметр прийнятий струм у колі живлення електродвигуна головного приводу бурової установки.

В результаті досліджень взаємодії електропривода з динамічним опором колони і руйнівної породи нами виконано схемне опрацювання функціонування вузлів приладу контролю. Розробка приладу для контролю тріщинуватості буримої гірської породи

безпосередньо в процесі проходки свердловини виконана згідно алгоритмів математичної моделі [7]. Розроблений прилад, структурна схема якого представлена на рис.1, здійснює оперативний контроль стану гірської породи за ступенем тріщинуватості з урахуванням інформативних ознак реакції електропривода бурового верстата.

Прилад контролю тріщинуватості буримої породи (ПКТП) призначений для визначення показників тріщинуватості породи безпосередньо у процесі буріння. Він формує наступні сигнали:

- аналоговий сигнал 0...10 В постійного струму, пропорційний середньому значенню споживаного електроприводом бурового верстата струму;
- імпульсні сигнали перевищення відносного відхилення додатного ($>$) та від'ємного ($<$) порогових значень.

Прилад контролю ПКТП працює наступним чином. Гармонічний сигнал, пропорційний струму в колі живлення приводного електродвигуна бурового верстата, при номінальному навантаженні на валу, знімається з виходу перетворювача 2 струму, передається з коефіцієнтом $k=1$ через підсилювач 3, випрямляється двопівперіодним випрямлячем 4 і поступає на елемент усереднення 5 з часом усереднення δt , на виході якого виникає напруга U_1 , пропорційна діючому значенню струму I у вторинній обмотці трансформатора струму. Напруга U_1 з виходу елемента усереднення 5 подається на перший інтегратор 6 із запам'ятовувачим зворотним зв'язком на елементі 7, а через повторювач 13 напруги на перший вхід першого суматора 14. На другий вхід першого суматора 14 подається напруга U_2 з виходу запам'ятовуючого елемента 7, пропорційна значенню струму навантаження, усередненому на заданому інтервалі часу $\Delta t_1 \gg \delta t$. Перший суматор 14 порівнює напругу U_1 , пропорційну діючому значенню струму навантаження електродвигуна I_1 , та напругу U_2 , пропорційну струму I_1 , усередненому на інтервалі часу Δt_1 . Напруга U_1 з виходу елемента усереднення 5 подається також на перший вхід другого суматора 8. На другий вхід другого суматора 8 з виходу опорного елемента 9 подається напруга U_{on} , що відповідає оптимальному режиму роботи пристрою. Другий суматор 8 порівнює напругу U_1 та напругу U_{on} . Напруга неузгодженості $U_3=U_1-U_{on}$ надходить на перший вхід другого інтегратора 10 із запам'ятовувачим зворотним зв'язком на елементі 11. З виходу запам'ятовуючого елемента 11 напруга U_3 , усереднена на інтервалі часу $\Delta t_2 > \Delta t_1$, з метою усунення самозбудження кіл автоматичного регулювання підсилення АРП, подається на регульований елемент пристрою 12 АРП підсилювача 3.

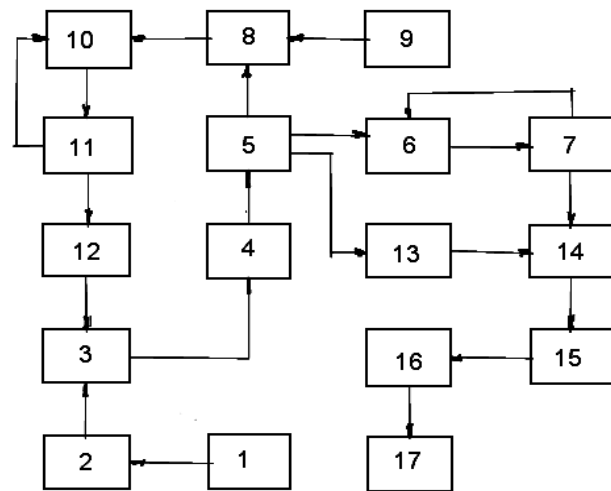


Рисунок 1 – Структурна схема приладу контролю тріщинуватості буримої породи (ПКТП)

Автоматичне регулювання підсилення підсилювача 3 здійснюється наступним чином. При незмінному номінальному навантаженні на бурильному валу напруга U_1 незмінна і рівна опорній $U_1=U_{on}$. При зміні навантаження протягом часу, більшого Δt_2 , вихідна напруга U_3 запам'ятовуючого елемента 11 також змінюється. На суматорі 8 відбувається порівняння напруги U_3 та опорної напруги U_{on} . Напруга неузгодженості $U_4=U_3-U_{on}$ подається на регульований елемент пристрою 12 АРП підсилювача 3. При збільшенні напруги U_1 з виходу другого інтегратора 10 напруга неузгодженості U_4 додатна, подача якої на регульований елемент пристрою 12 АРП приводить до зменшення коефіцієнта підсилення підсилювача 3, а, відповідно, до зниження вихідної напруги інтегратора. Зниження напруги U_1 протягом часу, більшого Δt_2 , приводить до появи від'ємної напруги U_4 неузгодженості, отже до збільшення коефіцієнта підсилення підсилювача 3.

При проходженні буровою коронкою тріщини діюче значення струму I_1 короткочасно зменшується, при цьому напруга U_1 також знижується з постійною часу δt елемента усереднення 5. Напруга U_2 при цьому залишається практично незмінною. З виходу першого суматора 14 напруга, пропорційна різниці вхідних напруг $U_4=U_2-U_1$ подається на компаратор 15, де порівнюється з граничним значенням, і при перевищенні останнього відкриває ключ 16, який замикає вимірювальний ланцюг реєстратора 17. У результаті відбувається відлік і реєстрація імпульсу, відповідного проходженню буровою коронкою тріщин. Для визначення проходження буровою

коронкою тріщин необхідно виміряти та порівняти між собою діюче і середнє значення параметрів потужності електропривода бурового верстата (наприклад, струму в колі живлення). Потім установлюють граничне значення різниці між діючим і середнім значеннями струму, яке відповідає коливанням крутного моменту на бурильному валу через вплив завад. При перевищенні різниці струму її порогового значення з одночасним зменшенням діючого значення струму фіксують момент проходження буровою коронкою тріщини. З метою встановлення працездатності приладу контролю ПКТП та підтвердження достовірності результатів досліджень нами проведені лабораторні випробування експериментального зразка [7]. На рис. 2 представлена діаграма показів ПКТП, поєднана з розрізом штучного блока. Для випробувань був виготовлений штучний блок породи із наперед заданим станом за тріщинуватістю, який складався із зразків, що розрізнялися за буримістю. Буріння блока здійснювалося із застосуванням верстата СБА–500 з алмазною імпрегнованою коронкою діаметром 46 мм при осьовому навантаженні 5 кН з частотою обертання 280 хв^{-1} , при подачі води 15 л/хв.

Під час випробувань на діаграмній стрічці велася реєстрація показників тріщинуватості буримої породи, одержуваних за допомогою експериментального зразка (у вигляді поодиноких відліків у моменти проходження буровою коронкою тріщин), хронометраж параметрів режиму буріння, механічної швидкості і поглиблення в часі, а також їх поєднання з показниками керового матеріалу, що виймався після буріння. При проведенні випробувань визначено і зафіксовано десять меж переходу в породу іншої категорії за буримістю і одна зона тріщинуватості, що повністю відповідає заданій будові штучного блока.

У виробничих умовах в Алмаликській ГРЕ ПГО Ташкентгеологія випробування експериментального зразка проводилися з метою визначення відповідності показів приладу фактичній тріщинуватості керового матеріалу в широкому діапазоні зміни стану породи і характеру взаємодії з породоруйнівним інструментом, а також виявлення методів удосконалення випробуваного приладу. Під час випробувань проводився приладовий і ручний хронометраж із записом параметрів показів приладу та результатів дослідження керового матеріалу. Буріння здійснювалося із застосуванням верстата СКБ–4, насоса НБ–120/40 і снаряда ССК–46 в інтервалі глибин 530 – 591 м. За час випробувань простежено 12 циклів і 4 рейси буріння коронками типу К–9–02. Покази приладу записувалися на діаграмну

стрічку самописного приладу Н–338/6П і порівнювалися з фактичною наявністю тріщин у керовому матеріалі після його вилучення в кінці кожного циклу.

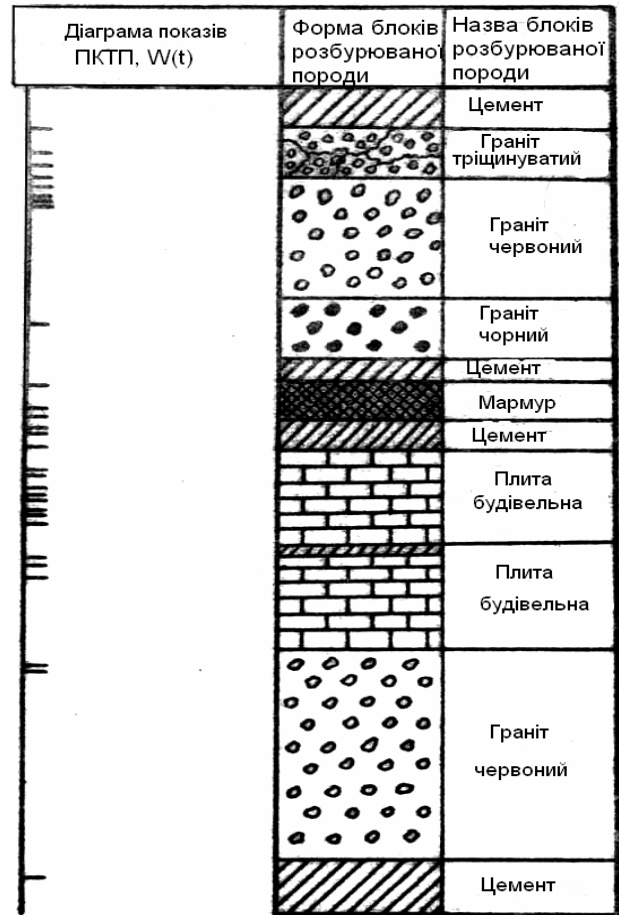


Рисунок 2 – Діаграма реєстрації тріщинуватості породи приладом контролю ПКТП, поєднана з розрізом штучного блока

Отримані результати порівнювалися з діаграмою запису показів ПКТП реакції електропривода бурового верстата на буриму породу. Під час випробувань приладу контролю тріщинуватості буримої породи ПКТП проводився запис поточних значень часу між черговими збуреннями електропривода бурового верстата при проходженні коронкою тріщини, а також поточні значення проходки свердловини. Буріння велася при частотах обертання в діапазоні від 280 до 710 хв^{-1} з осьовими навантаженнями від 6 до 12 кН. Промивання здійснювалося малоглинистими розчинами з витратою 12...18 л/хв при тиску 2,0...2,5 МПа. Приклад діаграми запису проходки (а) і показників тріщинуватості буримої породи (б), виміряні приладом контролю ПКТП, представлені на рис. 3.

З отриманої діаграми видно, що за перший

оберт реєстрового приладу проходка складає 28 см. Час проходки – 17 хвилин, а кількість тріщин – 20. За другий оберт реєстрового приладу проходка також рівна 28 см, а час проходки – 13 хвилин. Кількість тріщин – 11. Таким чином видно, що за перший оберт показник тріщинуватості рівний $W_1=20/0,28=71 \text{ м}^{-1}$, а за другий оберт $W_2=11/0,28=39 \text{ м}^{-1}$. При цьому швидкість проходки за перший оберт $V_{M1}=0,28 \cdot 60/17=0,99 \text{ м/год}$, за другий оберт $V_{M2}=0,28 \cdot 60/13=1,29 \text{ м/год}$. Видно, що із підвищенням тріщинуватості буримої породи швидкість проходки знижується.

ВИСНОВКИ

Таким чином, в результаті лабораторних досліджень і випробувань у виробничих умовах розробленого приладу контролю ПКТП отримані вихідні дані, в результаті обробки яких визначені статистичні характеристики показників тріщинуватості буримої гірської породи. Виробничими випробуваннями встановлено, що розроблений прилад контролю ПКТП дає можливість отримати об'єктивну оцінку стану буримої породи за тріщинуватістю, а метод, закладений в основу його функціонування, може бути використаний для розробки модуля керування технологічним процесом буріння.

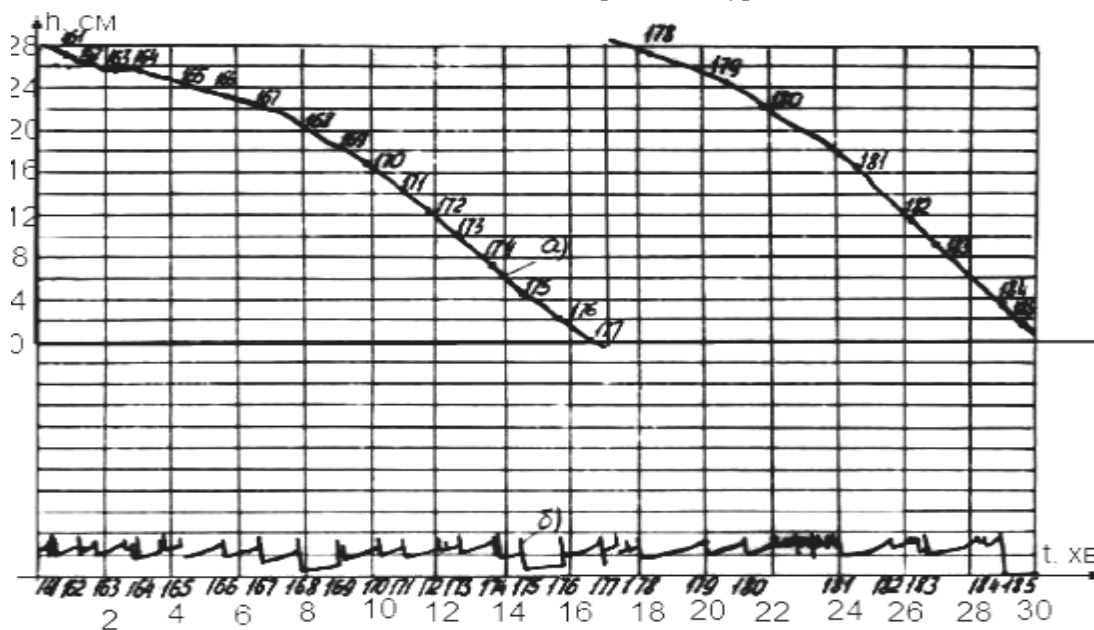


Рисунок 3 – Діаграми запису проходки (а) і показників тріщинуватості буримої породи (б)

1. Козловский Е.А. Оптимизация процесса разведочного бурения/Е.А. Козловский.– М.: Недра, 1975.– 303 с. 2. Шерстюк О.И. Методические рекомендации по использованию диаграмм затрат мощности для регулирования процесса алмазного бурения./О.И. Шерстюк, Н.Н. Михеев, Г.А. Блинов. – Л.: ВИТР, 1984.– 46 с. 3. Бражников В.А. Информационное обеспечение оптимального управления бурением скважин/В.А. Бражников, А.Н. Фурнэ. – М.: Недра, 1989.– 202 с. 4. Багринцева К.И. Трещиноватость осадочных пород/К.И. Багринцева.– М.: Недра, 1982.–256 с. 5. Пономарев П.П. Алмазное бурение трещиноватых пород/П.П. Пономарев.– Л.: Недра, 1985.– 144 с. 6. Каулин В.А.

Исследование процесса износа керна при алмазном бурении /В.А. Каулин, П.П. Пономарев и др. Обзор. Техн. и технол. геол.–развед. работ; орг. производства, – М.: ВИЭМС, 1986. – 64 с. 7. Шаповал А.А. Научное обоснование использования технических средств контроля для автоматизации и оптимизации бурения разведочных скважин. /А.А. Шаповал. Монография. Ивано-Франковск, Галицкая академия, 2011. – 304 с.

Поступила в редакцію 12.11.2012р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук,
проф. Горбійчук М. І.