

5. Charle's/Amonton's law [Electronic resource] / Wikipedia. The Free Encyclopedia. Access mode: http://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%97%d0%b0%d0%ba%d0%be%d0%bd_%d0%a8%d0%b0%d1%80%d0%bb%d1%8f.
6. Zykov A. A. Fundamentals of the graphs' theory [Text] / A. A. Zykov — М.: Nauka, 1987. — 383 s.
7. Ershov A. P. Explosion [Text] / A. P. Ershov // Soros's overview journal. — 2000. — т. 6. — с. 85-90.
8. Baum P.A. Physics of explosion [Text] / Pod red. I. p. orlenko. — izd. 3-e. — v 2 t. t. 2 - М. : Fizmatlit, 2002. — 656 s. isbn 5-9221-0220-6.
9. Measuring bridge. [Electronic resource] / Wikipedia. The Free Encyclopedia. — Access mode: http://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%98%d0%b7%d0%bc%d0%b5%d1%80%d0%b8%d1%82%d0%b5%d0%bb%d1%8c%d0%bd%d1%8b%d0%b9_%d0%bc%d0%be%d1%81%d1%82 — 05.03.2014 g.

П. А. ГОНТАРЬ, аспірант,

О. М. ТЕРЕНТЬЄВ, д-р техн. наук, професор;

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ВИБУХО-МЕХАНІЧНОГО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

Запропоновано вибір комбінованого руйнування гірських порід (ГП) з метою зниження питомої енергоємності механічного руйнування. Для класифікації комбінованих способів застосована теорія графів. Обрано орієнтовний граф Понтрягіна-Куратовського II-го роду з 12-ма вершинами. Побудована бінарна матриця сумісності способів руйнування ГП. Обґрунтовано доповнення механічного руйнування вибуховим як одним з найбільш енергоозброєних. Для реалізації вибухо-механічного руйнування представлено стенд експериментальної установки з модифікованими вузлами та елементами. Описано принцип дії вибухо-механічного руйнування на прикладі, розробленого різця комбінованої дії. В результаті математична моделювання комбінованого руйнування ГП вибухо- механічними навантаженнями проведені допроектні дослідження. Результати оформлені у вигляді графіків для граніту, кварциту і пісковіку . Проведено аналіз отриманих залежностей.

Ключові слова: комбіноване руйнування , вибухо-механічні навантаження, математична модель, руйнування гірських порід, технологічна тріщинуватість, енергоємність руйнування.

УДК 622.23.05

І. В. ЗАХАРОВА, аспірант

С. П. ШЕВЧУК, професор, д-р техн. наук,

В. М. СЛІДЕНКО, доцент, канд. техн. наук.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут

ІМПУЛЬСНО-ВІБРАЦІЙНЕ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Анотація. Розглянуто імпульсно-вібраційний спосіб руйнування гірських порід з міцністю $f > 8$ за шкалою проф. М.М. Протодьяконова, на основі взаємодії обертального буріння, імпульсів в діапазоні частот 3...5 Гц, та вібраційного навантаження електрострикційним методом з частотою 100...250 Гц, яка сприяє зниженню питомої енергоємності руйнування та зменшенню зносу бурового інструменту. Для обґрунтування доцільності застосування способу наведено механізм утворення ядра ущільнення при статичних та динамічних навантаженнях, представлені розрахунки питомої енергоємності для процесу різання вугілля та гірської породи.

Ключові слова: електрострикційний вібратор, обертальне буріння, імпульсне навантаження, буріння шпурів.

Вступ

Найбільш поширеним способом відділення від масиву порід середньої міцності і міцних на сучасному рівні гірничо-прохідницької техніки є буропідричний спосіб. Проте, якщо застосування вибухових речовин, які вводяться усередину масиву породи, дозволяє в долі секунди відокремлювати значні обсяги гірської породи, то буріння шпурів, необхідних для розміщення в масиві зарядів вибухових речовин, є однією з найбільш трудомістких операцій при проведенні підготовчих виробок, що складає 25–40 % загальних трудовитрат на всі роботи виробничого циклу і 55–60 % вартості всіх прохідницьких робіт при буропідричному способі проведення виробок.

На сьогодні встановлені наступні області застосування різноманітних способів механічного буріння шпурів діаметром 32-52 мм: обертальне буріння доцільно застосовувати при неабразивних породах з $f < 8$; обертально-ударне буріння рекомендується в породах з $f = 8-16$; ударно-обертальне буріння

рекомендується в породах з $f = 8-20$; ударне-поворотне буріння найбільше ефективно на абразивних породах із $f > 16$.

Мета та завдання

Метою є обґрунтування запропонованого способу імпульсно-вібраційного руйнування гірських порід, який дозволяє значно знизити питому енергоємність процесу руйнування гірських порід підвищеної міцності, а також оцінка впливу форми системи "різець-ядро ущільнення" на питому енергоємність процесу руйнування.

Матеріали і результати досліджень

Дослідженнями процесу руйнування гірських порід встановлено, що в результаті дії інструменту 1 на масив під інструментом утворюється ядро ущільнення 2, за яким формується зона передруйнування 3 (рис.1). Порода в ядрі ущільнення перебуває у стані всебічного стиснення та передає навантаження на частину породи, що оточує ядро. У роботі [1] експериментально встановлено, що стиснене у напрямку осі OX ядро ущільнення 2 розширюється у напрямку осей OY та OZ , що і призводить до появи розтягуючих напружень поблизу ядра. І якщо ядро – об'єм подрібненої породи до стану пилу, то зона передруйнування 3 може бути визначена лише утворенням нових тріщин або розширення існуючих до критичної ширини, при цьому руйнування породи ще не відбувається.

Розглянемо випадок статичного навантаження породи (рис. 1,а). Різець, забурючись в масив під дією статичного навантаження, формує ядро ущільнення заокругленої форми перед передньою гранню і тисне на зону передруйнування. Ядро такого виду спотворює форму ріжучої частини системи "різець-ядро ущільнення", що фактично відповідає процесу різання «затупленим» різцем. Відокремлення частки породи відбувається по лінії руйнування 4.

При динамічному навантаженні формується ядро ущільнення 2 клиноподібної форми (рис. 1,б) [2]. В цьому випадку форма ріжучої частини системи "різець-ядро ущільнення" фактично відповідає процесу різання «гострим» різцем.

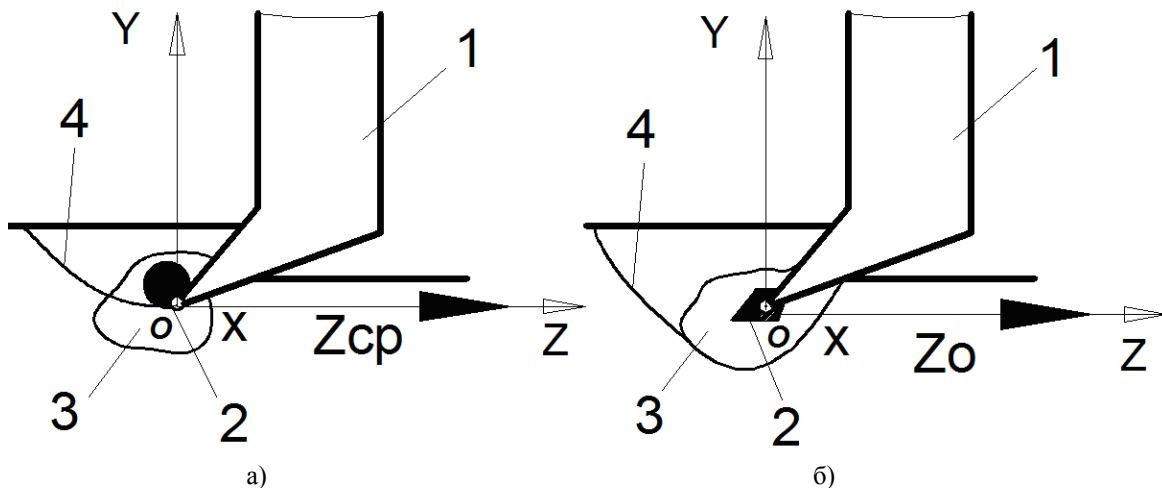


Рисунок 1 – Схема різання масиву при статичному (а) та динамічному (б) навантаженні.

Для оцінки впливу форми системи "різець-ядро ущільнення" на процес різання проведено порівняльний аналіз сил опору для різання затупленим і гострим різцем.

Середні значення сил різання на затупленому та гострому різці визначається за методикою [3] у відповідності до ОСТ 12.47.001-73 "Комбайни очисні. Вибір параметрів і розрахунок сил різання і подачі на виконавчих органах. Методика".

Для вугілля

$$Z_{cp} = Z_0 + f' \cdot (Y_{cp} - Y_0), \quad (1)$$

де Z_{cp} - середня сила різання на затупленому різці, кН; Z_0 - середня сила різання на гострому різці, кН; f' - коефіцієнт опору різанню, який дорівнює відношенню суми сил тертя на всіх площадках затуплення різця до сили подачі; $f' = 0,38 \dots 0,44$; $(Y_{cp} - Y_0)$ - приріст сили подачі при затупленні різця, кН.

Середня сила різання на гострому різці

$$Z_0 = \frac{\bar{A}_p \cdot (0,35b_{cp} + 0,003) \cdot h_{cp} \cdot t_{cp} \cdot K_z \cdot K_y \cdot K_f \cdot K_c \cdot K_{от}}{(b_{cp} + h_{cp} \cdot tg\psi) \cdot K_\psi \cdot \cos \beta}, \quad (2)$$

де \bar{A}_p – середній опір пласта різанню в невідтиснутій зоні, $\bar{A}_p = 150 \cdot f$, де f – коефіцієнт відносної міцності за шкалою проф. Протод'яконова, кН/м; b_{cp} – розрахункова ширина робочої частини різця, м;

$tg\psi = \frac{(0,45 \cdot h_{cp} + 0,023)}{h_{cp}}$, ψ – кут бокового розвалу борозни різі; h_{cp} – середня глибина різання

(товщина стружки), м; t_{cp} – середній крок різання $t_{cp} = b_{cp} + h_{cp}$, м; K_ψ – коефіцієнт, який враховує крихкопластичні властивості вугілля, для в'язкого вугілля $K_\psi=0,85$, для крихкого $K_\psi=1,0$, для дуже крихкого $K_\psi=1,15$; β – кут установки різця відносно напрямку переміщення виконавчого органу, $\beta=45^\circ$;

K_z – коефіцієнт відкритості вибою, $K_z = \frac{0,3+0,002}{h_{cp}}$; K_y – коефіцієнт, який враховує вплив кута різання α ;

K_f – коефіцієнт форми передньої грані різця, для різців з плоскою передньою гранню, $K_f=0,9$; K_c – коефіцієнт, який враховує схему різання – для послідовної схеми $K_c=1$; $K_{от}$ – коефіцієнт, який враховує вплив відтискування вугілля в зоні роботи виконавчого органу, $K_{от} = 0,5$.

Сила подачі на затупленому різці

$$Y_{cp} = Y_0 + \sigma_{ст} \cdot S_3 \cdot K_{об}, \quad (3)$$

де Y_0 – сила подачі на практично гострому різці, кН; $\sigma_{ст}$ – тимчасовий опір вугілля одноосному стисненню, МПа; S_3 – проекція площадки затуплення різця на площину різання; $K_{об}$ – коефіцієнт об'ємно-напруженого стану масиву.

Середня сила подачі на гострому різці

$$Y_0 = K_p \cdot Z_0. \quad (4)$$

де коефіцієнт K_p характеризує відношення сили подачі до сили різання на гострому різці. Він приймається для в'язкого вугілля 0,7, для крихкого 0,6, для дуже крихкого 0,5.

Для гірських порід сила різання визначається з урахуванням контактної міцності [3], що характерно також для визначення сили опору при ударних навантаженнях гірських порід у відповідності до теорії ударно-контактного руйнування.

Для гострого різця:

$$Z_0 = p_k \cdot k_{cn} (0,92 + 0,01b_p) \cdot (0,25 + 0,018 \cdot t \cdot h), \quad (5)$$

$$Y_0 = Z_0, \quad (6)$$

де Z_0 , Y_0 – сили різання і подачі на гострому різці, Н; p_k – контактна міцність породи, $p_k=44 \cdot f^{1,5}$, МПа; b_p – ширина різця; t – крок різання, мм; h – товщина стружки, мм; $k_p = k_{cn} (0,92 + 0,01b_p)$ – інтегральний коефіцієнт, що враховує геометрію різця.

Для затупленого різця:

$$Z = Z_0 + 0,25 \mu_p p_k S_{зат}, \quad (7)$$

$$Y = Y_0 + 0,25 p_k S_{зат}, \quad (8)$$

Питома енергоємність процесу різання, МДж/м³

$$H_w = \frac{Z}{t \cdot h}. \quad (9)$$

Відносна зміна енергоємності

$$\Delta H_w = \frac{H_{wcp} - H_{w0}}{H_{w0}} \cdot 100\%. \quad (10)$$

Результати розрахунків, у відповідності до параметрів різця: для вугілля – $\bar{A}_p=210$ кН/м; $K_\psi=1,0$; $K_c=1$; $K_f=0,9$; $K_z=14,1$; $K_y=0,9$; $K_{от}=0,5$; і $K_{об}=1,558$; $tg\psi=1,525$; $\beta=45^\circ$; $\sigma_{ст}=141$ МПа; $b_{cp}=0,022$ м; $h_{cp}=0,021$ м;

$t_{cp}=0,043$ м; $S_3=15 \cdot 10^{-6}$ м² (для різання по вугіллю); для породи – $h=20$ мм; $t_{cp}=30$ мм; $S_{зат}=40$ мм²; для різців ШБМ-2 $k_p=1$; $\mu_p=0,4$.

Таблиця 1.

	Середня сила різання на гострому різці, кН	Середня сила подачі на гострому різці, кН	Питома енергоємність при різанні гострим різцем, Дж/м ³	Середня сила різання на затупленому різці, кН	Середня сила подачі на затупленому різці, кН	Питома енергоємність при різанні затупленим різцем, МДж/м ³	Відносна зміна енергоємності, %
Вугілля ($f=1,4$)	0,309	0,185	0,332	0,31	0,189	0,334	0,6
Піщаник ($f=10$)	16,91	16,91	28,18	22,48	30,83	37,46	32,9

Очевидно, що збільшення розмірів ядра ущільнення відповідає збільшенню зони затуплення різця, і сили різання та подачі будуть зростати. Відповідно буде зростати питома енергоємність процесу руйнування породи. Зношування різців головним чином пов'язане з силами тертя, що виникають між різцем та породою. Зниження питомої енергоємності руйнування досягається зниженням затуплення різців за рахунок періодичного зняття осьового навантаження, наприклад, введенням в процес різання високочастотного вібраційного навантаження. В момент зняття осьового навантаження відбувається два важливих процеси: зміна форми ядра ущільнення, яке, змінюючи геометрію системи "різець-ядро ущільнення" і, збільшуючи сили тертя, збільшує питомі енерговитрати процесу різання, та охолодження інструменту буровим розчином. Такий процес характерний для імпульсно-вібраційного навантаження робочого інструмента гірничої машини. Так імпульсно-вібраційна дія при обертальному бурінні ефективна при нарізанні спіралевидними шарами гірської породи за рахунок надання буровому інструменту постійного осьового зусилля, крутного моменту, імпульсів в діапазоні частот 3...5 Гц та вібраційного навантаження електрострикційним методом з частотою 100...250 Гц. Завдяки постійній вібрації в процесі різання значно знижується тертя леза інструмента об породу і, як наслідок, зношування інструменту.

Основними показниками процесу руйнування гірських порід є технологічні параметри, які в процесі руйнування мають змінні статистичні характеристики. Тому процес руйнування слід віднести до неергодичного, оскільки статистичні числові параметри та характеристики є не стаціонарними. Причому, сам процес імпульсно-вібраційного руйнування носить комплексний характер з поєднанням поверхневого і об'ємного процесу руйнування.

Для синтезу параметрів процесу імпульсно-вібраційного руйнування проведено дослідження механізму руйнування породи при обертальному бурінні гірських порід на експериментальному устаткуванні Інституту надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України. Експериментальним методом досліджень згідно поставлених задач обрано метод Гауса-Зайделя. Основний об'єм планування експериментів виконувався за допомогою системи прогнозування, виміру й керування Keithley 575 фірми "Keithley Instruments, Inc." (США), підключеної до ПЕОМ за допомогою відповідного інтерфейсу. Обробка результатів проводилась за допомогою комп'ютерної програми Easyest LX фірми "Asyst Software Technologies, Inc." (США).

Експериментально встановлено, що значну роль у процесі руйнування породи при обертальному бурінні грає зона передруйнування. Незважаючи на те, що на її утворення в процесі руйнування породи витрачається всього 20-30 % підведеної до вибою енергії, наявність зони передруйнування обумовлює значне зниження опору породи руйнуванню й відповідно енергоємність руйнування. Визначено значний вплив на формування зони передруйнування системи "різець-ядро ущільнення" та імпульсного навантаження на різцеву частину інструменту.

Запропонована конструкція основних елементів пристрою та спосіб реалізації імпульсно-вібраційного руйнування гірських порід рекомендуються до впровадження в паливно-енергетичному комплексі України.

Висновки

Проведено оцінювання впливу форми системи "різець-ядро ущільнення" на процес руйнування вугілля та гірської породи – міцного піщанику. Визначено відповідні значення сил різання та питомих енергоємностей. Встановлено, що на питому енергоємність має значний вплив форма системи "різець-ядро ущільнення". При збільшенні міцності породи зростає відносна зміна енергоємності процесу

різання гострим різцем та затупленим, яка досягає для різання по породі 32%. Результати розрахунків підтверджують доцільність застосування способу імпульсно-вібраційного руйнування гірських порід.

Література

1. Протасов Ю.И. Теоретические основы механического разрушения горных пород - М. : Недра, 1985. - 243 с.
2. Солод В.И., Гетопанов В.Н., Рачек В.М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. Учебник для вузов. - М.: Недра, 1982.-350 с.
3. Малевич Н.А. Горно-проходческие машины и комплексы. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1980.- 384 с.

I. ZAKHAROVA, postgraduate student,
S. SHEVCHUK, D.Sc., Prof.,
V. SLIDENKO, Ph. D., Ass. Prof.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute» PULSED-VIBRATION ROCK DESTRUCTION

The article considers the pulsed-vibrational way of rock destruction with strength $f > 8$ according to the M.M. Protodiakonov's scale, which is based on the interaction of rotary boring, impulses in the frequency range of 3-5 Hertz and vibrational load by using electrostrictional method with frequency between 100-250 Hertz, that leads to "cutter- core compaction" modify and reduction of energy intensity of destruction due to decrease of cutters' detrition. To ground the appropriateness of using the method, the mechanism of core compaction formation under static and dynamic load has been considered, the calculation of energy intensity for the process of cutting coal and rock has been conducted. The reduction of energy intensity of destruction is achieved by the reduction of cutters blunting due to periodical removal of axial load. At the moment removal of axial load, the shape of core compaction changes and the tool is chilled by drilling liquid.

Key words: electrostrictional vibrator, rotary boring, pulsed load, gadding.

References

1. Protasov, Yu. I. Theoretical bases of mechanical destruction of rocks. (1985). "Nedra." Moscow, Russia, p. 243.
2. Solod, V.I. Design and construction of mining machines and complexes. (1982) / Solod, V.I., Getopanov, V.N., Racheck, V.M. "Nedra." Moscow, Russia, p. 350.
3. Malevich, N.A. Mining and tunneling machines and systems. (1980) "Nedra." Moscow, Russia, p. 384.

И. В. ЗАХАРОВА, аспирант,
С. П. ШЕВЧУК, профессор, д-р техн. наук,
В. М. СЛИДЕНКО, доцент, канд. техн. наук.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» ИМПУЛЬСНО-ВИБРАЦИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Рассмотрен импульсно-вибрационный способ разрушения горных пород крепостью $f > 8$ по шкале проф. М.М. Протодьяконова на основании взаимодействия вращательно бурения, импульсов в диапазоне часто 3...5 Гц, и вибрационной нагрузки электрострикционным методом с частотой 100...250 Гц, которое способствует снижению удельной энергоёмкости разрушения и снижению износа бурового инструмента. Для обоснования целесообразности применения способа рассмотрен механизм образования ядра уплотнения при статическом и динамическом нагружении, представлены расчеты удельной энергоёмкости процесса резания углей и горной породы.

Ключевые слова: электрострикционный вибратор, вращательно бурение, импульсная нагрузка, бурение шпуров.