

REFERENCES

1. Klevtsov, I.V., Fedorenko, P.I. (1981), *Shemi vzrivaniya na karierah i kachestvo drobleniya gornoj masi* [Blasting scheme in quarries and crushing quality of rock mass ], Tekhnika, Kyiv, Russian.
2. Mindeli, E.O., and Salganik, V.A., and Voroteliak G.A. etc. (1977), *Metodi i sredstva vzrivnoy otboyki rudi* [Methods and means of ore blasting], Nedra, Moscow, Russian.
3. Sukhanov, A.F., and Kutuzov, B.N. (1983), *Razrushenie gornih porod vzrivim* [Destruction of rocks by explosion], Nedra, Moscow, Russian.
4. Kravets, V.G., and Vorobiov, V.D., and Kuzmenko, A.O. (1994), *Pidrivni roboti na karierah* [Blasting in quarries], ISDO, Kyiv, Russian.
5. Vorobiov V.D. Methods of rocks crushing by control of anisotropic pulse explosion parameters of combined charges (for quarries of notminerals industry): avtoref. dis. Doctor of tech. sciences: spec. 05.15.11 «Physical processes of mining» / V.D. Vorobiov; IGM NAS of Ukraine. – K., 1995. – 34 p.

Стаття надійшла 18.10.2013.

УДК 622.1/.2

**КЛАСИФІКАЦІЯ КОМБІНОВАНИХ СПОСОБІВ РУЙНУВАННЯ  
ГІРСЬКИХ ПОРІД ГРАФАМИ**

**О. М. Терентьев, И. М. Стрельцова**

Національний технічний університет України «КПІ»

вул. Борщагівська, 115, м. Київ, 03056, Україна.

E-mail: Oltr\_1@ukr.net, inna\_hnipel@ukr.net

Представлений аналіз способів руйнування гірських порід, виділені їх переваги та недоліки. Сформовано класифікаційні десятивершинні графи. Кожна з вершин відповідає виділеному способу навантаження: ударний, обертовий, гідравлічний безперервний, гідравлічний імпульсний, електричний, термічний, ультразвуковий, надвисокочастотний, хімічний, вибуховий.

**Ключові слова:** порода, спосіб, руйнування, граф, класифікація.

**КЛАССИФИКАЦИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СПОСОБОВ  
РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ГРАФАМИ**

**А. М. Терентьев, И. М. Стрельцова**

Национальный технический университет Украины «КПИ»

ул. Борщаговская, 115, г. Киев, 03056, Украина.

E-mail: Oltr\_1@ukr.net, inna\_hnipel@ukr.net

В статье представлен анализ способов разрушения горных пород, выделены их преимущества и недостатки. В результате, сформированы классификационные десятивершинные графы. Каждая из вершин соответствует выделенному способу нагружения: ударный, вращательный, гидравлический непрерывный, гидравлический импульсный, электрический, термический, ультразвуковой, сверхвысокочастотный, химический, взрывной.

**Ключевые слова:** порода, способ, разрушение, граф, классификация.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Руйнуванням гірських порід, удосконаленням старих і розробкою нових способів займалися В.І. Бондаренко, В.І. Брилін, В.Л. Бритаєв, Ю.В. Горюнов, С.М. Журков, Ф.І. Кучерявий, В.З. Партон, О.О. Скочинський, О.М. Терпигорьєв, Л.Д. Шевяков, Є.І. Шемякин та інші [1–7]. Проте, до цього часу у вітчизняній гірничій промисловості використовують способи руйнування, що мають високу енергоємність у декілька тисяч МДж/м<sup>3</sup> [3]: гідравлічний, електротермічний, плазмовий, термошарошковий тощо. Способи руйнування, що потребують меншої енергоємності, також мають низку недоліків: використання механічного обмежене міцністю порід до  $f=6$  за шкалою Протодьяконова [4], вибухового – супроводжується утворенням сейсмічних хвиль, забрудненням довкілля. То ж до сьогодні задача розробки енергозберігаючого обладнання для руйнування гірських порід залишається актуальною, що підтверджено постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 р. № 243 [8].

Мета роботи – класифікація нових комбінованих енергозберігаючих способів руйнування гірських порід. *Завдання дослідження:* аналіз існуючих способів руйнування гірських порід, виділення переваг та недоліків; їх класифікація за видом навантаження.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Способи руйнування гірських порід поділяються на дві основні групи: механічні та немеханічні [1].

Немеханічні: хімічні, фізичні, гідравлічні, вибухові.

Механічний спосіб використовується на 85 % усіх гірських і земляних робіт [2]. Поділяється на ударний та обертовий. Витрати енергії на одиницю об'єму знаходяться в межах (0,2...1,7) кВт·год/м<sup>3</sup> [2]. Енергоємність механічних способів руйнування знаходиться в межах (200...950) МДж/м<sup>3</sup> [3]. Недоліком способів є обмежена область їх ефективної роботи - для порід з коефіцієнтом міцності за шкалою Протодьяконова до шести [4].

Гідравлічний спосіб руйнування порід передбачає використання напірного струменю води при тисках від кількох одиниць до декількох сотень МПа [9] (гідромоніторний). Для підвищення ефективності руйнування порід у струмінь води додають (5...15) % абразивних часток – сталевий дріб, кварцовий пісок, тощо (гідроерозійний). За характером струменя виділяють імпульсний та безперервний. Енергоємність гідравлічного способу знаходиться в межах (1000...2000) МДж/м<sup>3</sup> [3].

Вибуховий спосіб супроводжується переходом потенціальної енергії в кінетичну з різким підвищенням тиску в оточуючому середовищі, виникненням ударної хвилі та поля напружень [4]. Перевагою є швидкий перебіг процесу руйнування (наприклад, по заряду з 1 кг гексогену, об'єм якого 0,6 дм<sup>3</sup>, а теплота вибуху 5,4 МДж/кг, час детонації – 0,01 мс, [10]). До недоліків належать сейсмічна дія вибуху на законтурний масив; забруднення довкілля; втрати на додаткову обробку поверхонь монолітних блоків; утворення газоподібних речовин обсяг яких у (2000–4000) разів перевищує об'єм заряду вибухової речовини [11]. Енергоємність вибухового способу знаходиться в межах (200...950) МДж/м<sup>3</sup> [3].

Фізичні способи руйнування гірських порід: термічні, електричні, ультразвукові, надвисокочастотні. До термічних способів руйнування порід відносять: вогневий, плазмовий, атомний, циклічний, лазерний, електронно-променевий.

Енергія теплового потоку перетворюється в механічну роботу, яка викликає руйнування породи. До електричних способів руйнування порід належать: електродуговий, електронагрівальний, електроіндукційний. Енергія електромагнітного та електричного полів перетворюється в гірській породі спочатку на теплову, а потім – на механічну роботу. Перевагами фізичних способів руйнування порід є те, що в них відсутній породоруйнуючий інструмент. Це важливо при підвищенні міцності руйнування порід у зв'язку із різким зниженням стійкості і збільшенням можливості зносу інструменту.

Високочастотним способом руйнування гірських порід є резонансний на основі використання надвисоких частот – випромінювання. Їх діапазон знаходиться в межах  $(3 \cdot 10^2 \dots 3 \cdot 10^5)$  МГц [11]. Енергоємність руйнування  $(3 \dots 7)$  МДж/м<sup>3</sup>, продуктивність 30 м<sup>3</sup>/год [11]. Недоліком є те, що максимальна товщина шару масиву, що руйнується 0,5 м. Електротермічний високочастотний спосіб передбачає виникнення зони теплового розширення з появою розтягуючих напружень і, в результаті, тріщин. Підходить для руйнування діелектричних порід, таких як граніт, вапняк, сієніт, гнейс тощо. Енергоємність руйнування  $(7 \dots 13)$  МДж/м<sup>3</sup>, продуктивність знаходиться в межах від 25 до 50 м<sup>3</sup>/год [11]. Електроімпульсний спосіб (електровибух) передбачає короткочасне (0,1 мс) розрядно-імпульсне навантаження у рідині, що знаходиться в масиві, викликає появу механічних напружень, що руйнують масив [11]. Переваги: відсутність пилогазоутворення, розльоту шматків оброблюваного масиву, можливість руйнування заданих обсягів у локальній площині, що зменшує втрати сировини при обробці. Енергоємність руйнування  $(100 \dots 200)$  МДж/м<sup>3</sup> [3].

При руйнуванні гірської породи хімічним способом використовується спеціальна суміш – терміт [3]. Перевагою застосування терміту, порівняно із вибуховим способом є те, що собівартість руйнування гірських порід термітом на  $(30 \dots 40)$  % нижче собівартості вибухового способу. Недоліком хімічного способу руйнування порід є екологічна небезпека забруднення середовища.

У результаті досліджень виділено 10 способів навантаження: механічний ударний, механічний обертний, гідравлічний безперервний, гідравлічний імпульсний, електричний, термічний, ультразвуковий, надвисокочастотний, хімічний та вибуховий. Їх комбінації систематизовано десятивершинним орієнтованими графами (рис. 1) за методикою [12]. Граф з не строго паралельними дугами (ГЗНПД – рис. 1,а) відповідає комбінованим способам, для яких неважлива послідовність прикладення навантаження. У графі зі строго паралельними дугами (ГЗСПД – рис. 1,б) важлива послідовність прикладення навантаження. З ГЗНПД можливо отримати комбінацій: 72 парних (наведені відрізками) та 576 потрійних способів навантаження (показані трикутниками). З ГЗСПД можливо отримати комбінацій: 144 парних і 5184 потрійних навантажень.

Порівняльний аналіз значень енергоємностей найбільш поширених одиничних і комбінованих способів руйнування гірських порід указані у табл. 1.

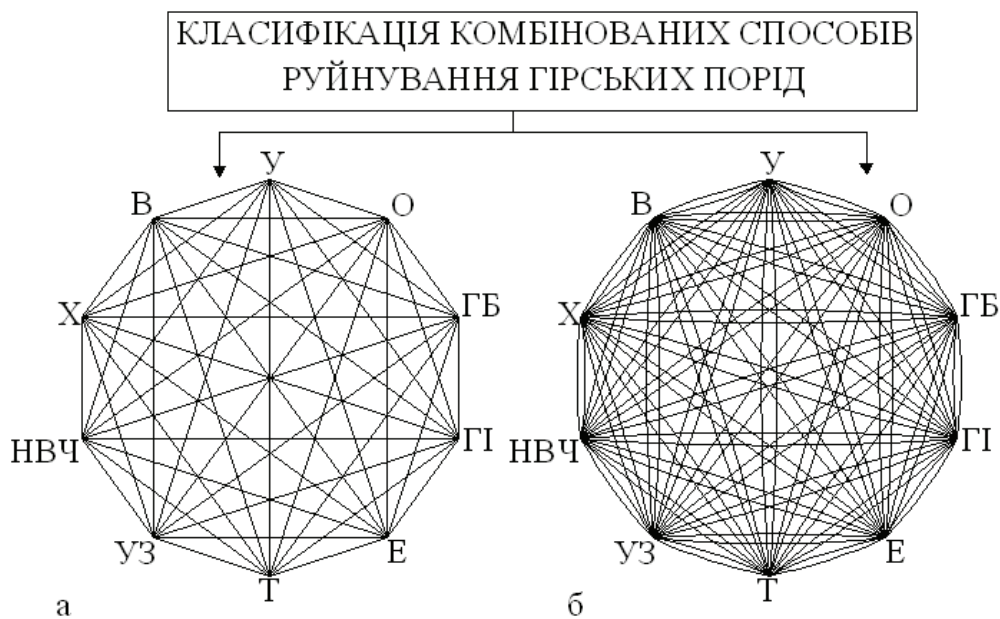


Рисунок 1 – Орієнтовані графи класифікації руйнування гірських порід за способом навантаження на гірську породу: а – зі строго паралельними дугами; б – з не строго паралельними дугами (У – ударні, О – обертові, ГП – гідравлічні безперервні, ГІ – гідравлічні імпульсні, Е – електричні, Т – термічні, УЗ – ультразвукові, НВЧ – надвисокочастотні, Х – хімічні; В – вибухові)

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз значень енергоємностей одиничних та комбінованих способів руйнування гірських порід

Одиничний спосіб навантаження	Енергоємність руйнування [2], МДж/м <sup>3</sup>	Комбінований спосіб навантаження	Енергоємність руйнування [2], МДж/м <sup>3</sup>	Зниження енергоємності, МДж/м <sup>3</sup>	Зниження енергоємності, %
Ударний	200...630	Ударно-обертовий	400...600	30...350	3...37
Обертовий	600...900				
Гідравлічний	1000...2000	Гідроімпульсний	70...100	930...1930	47...97
		Електрогідравлічний	400...500	600...1600	30...80
Електротермічний	5000	Електроімпульсний	100...200	4800...4900	96...98
		Електротермомеханічний	500...800	4300...4500	86...90
		Термомеханічний	1200...1600	3400...3800	68...76

Енергоємність руйнування гірських порід знижується за рахунок застосування комбінованого навантаження: для ударного та обертового способів від 3 до 37 %, для гідравлічного – від 30 до 97 %, для електротермічного – від 68 до 98 %.



ВИСНОВКИ. 1. У результаті аналізу руйнування гірських порід виділено 10 основних способів навантаження. Останні систематизовані двома десятивершинними орієнтованими графами: зі строго паралельними дугами та з не строго паралельними дугами. З першого отримано 72 парних і 576 потрійних комбінованих способів навантаження. З другого отримано 144 парних і 5184 потрійних. На основі графів можна виділити і розробити новий енергозберігаючий спосіб руйнування.

2. Енергоємність руйнування гірських порід знижується за рахунок застосування комбінованого навантаження: для ударного та обертового способів від 3 до 37 %, для гідравлічного – від 30 до 97 %, для електротермічного – від 68 до 98 %.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых / В.И. Бондаренко, А.М. Кузьменко, Ю.Б. Грядущий и др. // Днепрпетровск: «Полиграфист», 2003. – 708 с. ISBN 966-684-085-5

2. Горные машины и комплексы / В.Л. Бритаев, В.Ф. Замышляев. – М.: «Недра», 1984. – 288 с.

3. Брылин В.И. Бурение скважин специального назначения: учеб. пособ.– Томск.: Изд-во ТПУ, 2006. – 255 с.

4. Разрушение горных пород / Ф.И. Кучерявый, Ю.М. Кожушко. – М.: Недра, 1972. – 240 с.

5. Партон В.З. Механика разрушения: От теории к практике. – М.: Наука. Пробл. науки и техн. Прогресса; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 240 с. ISBN 978-5-382-00157-9

6. О прогнозировании разрушения горных пород / С.Н. Журков, В.С. Куксенко, В.А. Петров и др. // Изв. АН СССР, серия Физика земли. – 1977. – № 6. – С. 11–18.

7. Скачкообразный рост трещин в монокристаллах при растяжении в контакте / Ю.В. Горюнов, Г.И. Деньщиков, Л.С. Солдатенкова, Б.Д. Сумм // ДАН СССР. – 1978. – Т. 24, № 2. – С. 327–329.

8. Кабінет Міністрів України, постанова від 1 березня 2010 р. № 243 «Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010 - 2015 роки» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/243-2010-п>. – Заголовок з екрана.

9. Гидромеханический способ разрушения горных пород и его практическое использование [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.talnah.ru/index\\_press\\_gidro.php](http://www.talnah.ru/index_press_gidro.php). – Заголовок з екрана.

10. Основные способы разрушения горных пород [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://burenie.by/?p=257#more-257>. – Заголовок з екрана.

11. Меркело А.А. Особенности и классификация невзрывных способов разрушения материалов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uran.donetsk.ua/~masters/publ2002/ggeo/merkelo.pdf>. – Заголовок з екрана.

12. Anderson J. Discrete Mathematics with combinatorics // University of South Carolina, Spartanburg, Prentice-Hall, Inc. 2001, pp. 960, ISBN 0-13-086998-8

**CLASSIFICATION OF COMBINED METHODS OF ROCK BREAKING  
BY GRAPHS**

**O. Terentiev, I. Streltcova**

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

vul. Borshchagivska, 115, Kyiv, 03056, Ukraine.

E-mail: Oltr\_1@ukr.net, inna\_hnipel@ukr.net

In this article we presented analysis of rock breaking methods. Their advantages and disadvantages was selected. As a result, classification graphs was formed. Each of the graphs' tops corresponding to the selected types of loading: rotary, impact, hydraulic continuous, pulsed hydraulic, electrical, thermal, microwave, supersound, chemical, explosive. The aim of the work is - classification of new combined energy consumption methods of rock breaking.

**Key words:** rock, method, breaking, graph, classification

REFERENCES

1. Bondarenko, V.I., Kuzmenko, A.M., Hryadushchii, Yu.B., Haiduk, V.A., Kolo-  
kolov, O.V., Tabachenko, N.M. and Pochevov, V.N. (2003). Tekhnologiya podzem-  
noi razrabotki plastovykh mestorozhdeniy poleznykh iskopaiemykh [Technology of  
underground reservoir of mineral deposits]. Polihrafist, Dnepropetrovsk, Ukraine.
2. Britaiev, V.L. and Zamyshliaiev, V.F. (1984). Gornye mashiny i komplekxy  
[Mining machines and systems]. Nedra, Moskov, Russia.
3. Brylin, V.I. (2006). Burenii skvazhyn spetsialnogo naznachenii. [Well drilling  
of special purpose]. TPU, Tomsk, Russia.
4. Kucheriavyi, F.I. and Kozhushko, Yu.M. (1972). Razrusheniie gornykh porod.  
[Rock breaking]. Nedra, Moskov, Russia.
5. Parton, V.Z. (1990). Mekhanika razrusheniia. Ot torii k praktike. [Mechanics.of  
rock breaking. From theory to practice]. Nauka, Moskov, Russia.
6. Zhurkov, S.N., Kuksenko, V.S., Petrov, V.A., Saveliev, V.N. and Sultanov,  
U.S. (1977). "Predicting of the rock breaking", Izvestiia AN SSSR, seriia "Fizika zem-  
li", no 6, USSR, pp. 11-18.
7. Gorunov, Yu.V., Denshchikov, G.I., Soldatenkova, L.S. and Summ, B.D.(1978)  
"The abrupt growth of cracks in single crystals under tension in contact", DAN SSSR,  
vol. 24, no 2, USSR, pp. 327 - 329.
8. Cabinet of Ministers of Ukraine Resolution of March 1, 2010 № 243 "On ap-  
proval of the State Target Economic Program on energy efficiency and the develop-  
ment of energy production from renewable energy sources and alternative fuels in  
2010 - 2015" [electronic resource] / Cabinet of Ministers of Ukraine Website - access:  
<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/243-2010-п> - title of the screen.
9. "Hydro-mechanical breaking rocks breaking method and its practical using" [elec-  
tronic resource]. ZAT «Talnah», website: [http://www.talnah.ru/index\\_press\\_gidro.php](http://www.talnah.ru/index_press_gidro.php) –  
title of the screen.
10. "Main rock breaking methods" [electronic resource]. «Ddrilling of wells» - web-  
site: <http://burenie.by/?p=257#more-257> – title of the screen.

11. Merkelo, A.A. “Features and classification of non-explosive means of materials destruction” [electronic resource].

Website: <http://uran.donetsk.ua/~masters/publ2002/ggeo/merkelo.pdf> – title of the screen.

12. Anderson, J. Discrete “Mathematics with combinatorics”. (2001). University of South Carolina, Prentice-Hall, Spartanburg, USA.

Стаття надійшла 22.10.2013.

УДК 622.271

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВИКОРИСТАННЯ КАР'ЄРНОГО КОМБАЙНА WIRTGEN 2200 SM В ЧАСІ**

**А. І. Крючков, І. М. Влащук**

Національний технічний університет України «КПІ»

пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ, Україна. E-mail: l2212i@ukr.net

Створена класифікація перерв та простоїв згідно вимог математичного моделювання для кар'єрного комбайну Wirtgen 2200 SM. Для кожної з виділених підсистем створена відповідна математична модель. Вона враховує характер і особливості всіх простоїв комбайна. Три виділені підсистеми об'єднуються в одну загальну математичну модель коефіцієнта використання комбайна в часі.

**Ключові слова:** гірничий комбайн, математична модель, кар'єр, перерви, простої.

### **ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО КОМБАЙНА WIRTGEN 2200 SM ВО ВРЕМЕНИ**

**А. И. Крючков, И. М. Влащук**

Национальный технический университет Украины «КПИ»

пр. Победы, 37, 03056, г. Киев, Украина. E-mail: l2212i@ukr.net

Разработана классификация перерывов и простоев согласно требованиям математического моделирования для карьерного комбайна Wirtgen 2200 SM. Для каждой из выделенных подсистем создана соответствующая математическая модель. Она учитывает характер и особенности всех простоев комбайна. Три выделенные подсистемы объединяются в одну общую математическую модель коэффициента использования комбайна во времени.

**Ключевые слова:** горный комбайн, математическая модель, карьер, перерывы, простои.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Проблема застосування традиційного способу розробки кар'єрних полів полягає в тому, що здійснення буро-вибухового способу розробки потребує значних енергетичних, матеріальних, трудових та інших