

1,0 - «Висока ефективність управління».

Адекватність моделі була перевірена шляхом співставлення одержаних оцінок ефективності управління для підприємства ПАТ «Криворіжжяглобуд» і підприємств гірничо-металургійного комплексу ПАТ «ІнГЗК», ПАТ «ПівдГЗК».

Матриця інтегральних показників ефективності управління публічними акціонерними товариствами.

Підприємство	Фактори				Параметри ЕФ	Рейтинг незалежних експертів
	ЯП	ОП	СП	СВ		
ПАТ «ІнГЗК»	0,82	0,69	0,16	0,75	0,69	4
ПАТ «Криворіжжяглобуд»	0,72	0,62	0,15	0,59	0,61	8
ПАТ «ПівдГЗК»	0,68	0,59	0,24	0,20	0,51	28

Отже, проведення реінжинірингу бізнес-процесу управління ПАТ «Криворіжжяглобуд» за розробленою методикою дало такі результати:

уніфікацію і спрощення управлінських технологій;

якісно підвищився рівень праці керівника за рахунок делегування повноважень;

створено систему діагностики управління з метою контролю його ефективності ;

зменшено ресурсні витрати;

підвищено конкурентоспроможність корпоративного підприємства, його мобільність та гнучкість.

Висновок та напрямок подальших досліджень. Розроблені механізми діагностики ефективності бізнес-процесів управління, що дозволило використати інструментарій реінжинірингу бізнес-процесів управління та визначити інтегровані показники якості управління публічним акціонерним товариством. В якості подальшого розвитку розроблених моделей - інтегрованого показника ефективності управління перспективним напрямком є розробка технологій стратегічного реінжинірингу і процесно-вартісного підприємством в умовах складного зовнішнього середовища.

Список літератури

1. Чернявський А.Д. Антикризове управління: Навч. посібник. - К.: Зовнішня торгівля, 2005. - 328 с.
2. Хаммер М., Чампи Д. Реінжиніринг-корпорації: манифестреволюції в бізнесі. СПб.: Изд. Санкт.-Петербург. ун-т., 1997. - 329 с.
3. Абдикеев Н.М. Реінжиніринг бизнес-процессов: Учебник / Н.М. Абдикеев, Т.П. Данько, С.В. Ильдеменов, А.Д. Киселев. - 2-е изд. испр.- М.: Эксмо. - 592 с.
4. Медынский В.Г., Ильдеменов С.В. Реінжиніринг инновационного предпринимательства: Учебн. пособие для вузов / Под ред. проф. В.А. Ирикова. - М.: ЮНИТИ, 1999. - 414 с.
5. Черемных О.С., Черемных С.В. Стратегический корпоративный реінжиніринг: процесно-стоимостный подход к управлению бизнесом: Учебн. пособие. - М.: Финансы и статистика, 2005. - 736 с.
6. Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 784 с.

Рукопис подано до редакції 21.03.13

УДК 239.42:622.35

С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., В.І. КЛЯЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц.,

Криворізький національний університет

С.В. КАЛЬЧУК, ДВНЗ «Житомирський державний технологічний університет»

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СПРЯМОВАНОГО РУЙНУВАННЯ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ В СУБДИНАМІЧНОМУ РЕЖИМІ

Розглянуто математичний апарат створення моделі субдинамічного руйнування кристалічних середовищ та порід на основі структурних і безструктурних моделей, а також з застосуванням статистичного розподілу Вейбулла. Запропоновано комплексний підхід до побудови моделей процесу пластичної деформації, мікро- та макроруйнування кристалічних порід.

Ключові слова: кристалічне середовище, природний камінь, руйнування породи, розколювання, напруження, динаміка, математична модель.

Проблема та її зв'язок з практичними завданнями. Технологія спрямованого руйнування каменю по заданим площинам відома з давніх часів. І раніше і зараз це є єдиним способом

промислового видобутку блочної сировини. На даний час найбільш поширеними є такі способи механічного руйнування каменю при видобуванні блоків: буровибуховий, буроклиновий, гідроклиновий, піроклиновий (подібний до гідроклинового, з тією відмінністю, що рушійною силою є процес згорання паливної суміші в камері згорання), НРЗ (невибухові руйнуючі засоби на основі хімічних реакцій), ГТХ (за допомогою генераторів тиску хімічних речовин, так званого повільного вибуху), а також інші варіації цих способів в кар'єрі. Усі зазначені способи характеризуються різною динамікою та процесом протікання створюваних зусиль розколу. Найбільш поширеним на гранітних кар'єрах України залишається застосування шпурового буріння в сполученні з пороховими зарядами або НРЗ. Саме завдяки своїй технологічній простоті цей спосіб має широке поширення, змінюючи лише засоби, якими реалізується технологія.

Автори даної статті винайшли і розробили пристрій (рис. 1) і спосіб розколювання кристалічних порід в субдинамічному режимі, позбавлений головних вад існуючих вибухових і статичних методів створення розколюючих зусиль, за допомогою піроклинів, який вирішив проблему «непрístupного» до того для гірничої практики діапазону між статичним (квазістатичним), та динамічним (вибуховим) режимами.

Розроблене рішення на даний момент є вже достатньо апробованим і підтвердило свою ефективність. Але в промислову практику воно впровадження у вітчизняних кар'єрах не набуло. У той же час ним надзвичайно зацікавилися французькі та німецькі фахівці, розуміючи, що воно йде набагато далі не тільки прикладних задач гірничого виробництва, але й суттєво розширює можливості самої геомеханіки.

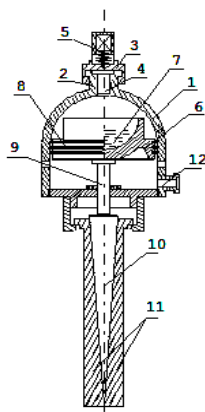


Рис. 1. Пристрій піроклину

Розуміючи, що яким би не було вдалим технічне рішення, його використання без відповідного теоретичного обґрунтування та методичного супроводження є вкрай проблематичним, автори даної статті, поглиблюючи дослідження, ведуть активний пошук шляхів узгодження протилежних за своєю суттю традиційних тлумачень механізмів реалізації двох названих режимів, які з причини існування розриву в доступних динамічних діапазонах навантаження середовищ, не зовсім виправдано розглядалися як альтернативні. Розглянутий нижче варіант ілюструє один з багатьох підходів у спробах створення придатної до використання математичної моделі на шляху розвитку теоретичних основ субдинамічної механіки.

Взагалі, існуючі розрахунки технології направленої відколу переважно базуються на теорії статичного руйнування порід, що є перешкодою для розрахунку ефективних параметрів технології видобування каменю методами, відмінними від статичних. Тому розробка математичної моделі, що адекватно описує протікання процесів направленої руйнування каменю в субдинамічному режимі та визначення основних етапів цих процесів в означених умовах до повного руйнування каменю має вельми актуальне значення.

Аналіз досліджень та публікацій. На відміну від руйнування металів та інших відносно однорідних матеріалів, руйнування природного каменю характеризується відмінними динамічними та статичними особливостями.

В усіх дослідженнях з руйнування каменю, що проводилися раніше зарубіжними та вітчизняними авторами, спостерігається спільна риса: зміна механічних властивостей (накопичення та розвиток мікродфектів) залежно від характеру поля прикладених навантажень та їх динаміки.

Найбільш глибоко дослідження за цим напрямом проводилися А.А. Гріффітсом, А.Ф. Йоффе, А.К. Нікітіним, М.А. Большаніним, Ф.Ф. Вітманом, В.А. Степановим, Н.Н. Павловим та Г. Кольським [1].

Заслугує на увагу кінетична теорія міцності, вперше запропонована С.М. Журковим [2], яка полягає в новому підході до аналізу зв'язків розривної міцності та часу дії навантаження. Пізніше Е.Д. Певзнером було встановлено, що для гірських порід у межах високих швидкостей деформації і тривалої міцності спостерігається відхилення від єдиної залежності кінетичної теорії міцності, запропонованої С.М. Журковим, А.Н. Ставрогін запропонував теорію в, основу якої покладено статистичну модель твердого тіла, яка об'єднує в собі подвійну природу руйнування - на відрив та на зсув. Відповідно до цієї теорії, зростання швидкості деформації

супроводжується підвищенням загального рівня напруження в усьому об'ємі матеріалу. Підвищення загального напруженого стану матеріалу приводить до залучення в процес деформування все міцніших мікрозон зсуву. Ця теорія має достовірність лише для обмеженої групи порід, але для опису динаміки процесу руйнування блочного облицювального каменю є недостатньою, оскільки не враховує анізотропні властивості порід.

Постановка мети і задачі дослідження. Враховуючи зазначене, постає необхідність у математичному описі процесів направленої руйнування каменю, які об'єднують процеси мікро- й макроруйнування, а також процеси росту магістральних тріщин в субдинамічній (низькодинамічній) постановці задачі.

Викладення основного матеріала та результати. Серед теорій, що розкривають особливості крихкого руйнування природного каменю як функції часу (тривалості) заслуговує на особливу увагу в даному контексті енергетична теорія Журкова [2], за якою

$$t_l = t_p \exp\left(\frac{E_a - v_a \sigma}{kT}\right), \quad (1)$$

а також степенева залежність довговічності від навантаження (2)

$$t_l = t_p \left(\frac{\sigma}{\sigma_p}\right)^{-n} \exp\left[\frac{E_a}{kT}\right] \quad (2)$$

За своєю суттю дані співвідношення (1), (2) виражають усереднене значення довговічності в статичних випробуваннях коли значення напруг є константою в часі.

З позиції субдинамічної постановки задачі руйнування, вирази (1) та (2) запишемо, як рівняння швидкості росту тріщини при руйнуванні в динамічних та субдинамічних режимах (3), (4)

$$v_c = v_e \exp\left(-\frac{E_a - bK_1}{kT}\right); \quad (3)$$

$$v_c = v_e \left(\frac{K_I}{K_S}\right)^n \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right); \quad (4)$$

де K_1 - коефіцієнт інтенсивності напружень, що діють в межах закону Гука,

Так, як дані обчислення відносяться до лінійної теорії пружності, то співвідношення задовільно апроксимуються до стадії прискореного росту тріщини.

Оскільки в даному дослідженні об'єктом квазістатичного руйнування є кристалічні гірські породи (граніт, габро, лабрадорит), що складаються з сукупності різних за властивостями мінералів та характеризуються міцністю міжмінеральних зв'язків у породі, то досліджуваний об'єкт є неоднорідним середовищем, для якого процес руйнування макроскопічних твердих тіл відбувається за статистичним розподілом Вейбулла [3]

$$P(\sigma) = 1 - \exp\left[-(\sigma/\sigma_o)^n\right] \quad (5)$$

Даний вид розподілу використовується рядом дослідників при випробуваннях за умови постійної швидкості навантаження.

У теорії безструктурних (феноменологічних) моделей руйнування розростання тріщин розглядається, як стрибкоподібний випадковий процес. При цьому задача росту тріщин має вигляд [4]

$$\frac{\partial V(L, t/L_o)}{\partial t} = -Z(L, \sigma) \mathcal{V} + \int_0^{L-L_o} \omega(l) Z(L-l, \sigma) \mathcal{V}(L-l, t/L_o) dl, \quad (6)$$

$$V(L, t/L_o) = \sigma + (L - L_o),$$

де $V(L, t/L_o)$ - щільність розподілу розмірів тріщин при початковому розмірі L_o ; $Z(L, \sigma)$ - середній час очікування елементарного акту росту тріщини (стрибки); $\omega(l)$ - щільність розподілу довжини стрибків.

Фізична суть цієї математичної моделі полягає в тому, що за умов крихкого руйнування елементарний акт росту тріщини є складним багатоступеневим процесом, для опису якого на різних етапах руйнування необхідно задіяти енергетичну модель (1), (2), модель, що описується розподілом Вейбулла (5) та безструктурною моделлю (6).

Застосовуючи дані функції до залежностей (3) і (4), одержимо значення середніх швидкостей росту тріщин при субдинамічному руйнуванні порід

$$Z(L, \sigma) = Z_0 \left(\frac{bK_1}{kT} \right)^m \exp \left(- \frac{E_a - bK_1}{kT} \right), \quad (7)$$

$$Z(L, \sigma) = Z_0 \left(\frac{K_1}{K_S} \right)^m \exp \left(- \frac{E_a'}{kT} \right). \quad (8)$$

Крім того, математичний опис субдинамічного процесу руйнування ускладнюється явищем гістерезису, викликаним схлопуванням устя тріщини з відсутності навантаження.

Враховуючи те, що процес субдинамічного навантаження при направленому руйнуванні кристалічних гірських порід не передбачає розвантаження або циклічного прикладення навантажень, то явищем гістерезису в даному випадку можна знехтувати.

Розглянемо випадок чистої деформації зразків гірських порід при постійному навантаженні на розтяг (розрив) на прикладі моделі правильної геометричної форми, на протилежних гранях якої діють рівномірно розподілені, протилежно направлені сили.

Руйнування породи в кінцевому підсумку відбудеться по деякій площині, яка співпадає з лінією відколу каменю.

Площа S відколу чисельно дорівнює сумі елементарних міжмінеральних зв'язків в породі.

У разі кристалічних порід з неоднорідною структурою, в якій кожен елементарний міжкристалічний контакт має різне розташування і різну міцність, аналітично модель руйнування можна представити у вигляді певного розподілу.

Для крихких гірських порід найбільш адекватним, як зазначалося вище, є розподіл Вейбулла, який був успішно використаним в дослідженнях учених К. Канеко, Ш. Чо, Й. Огата [5-7].

Отже, для аргументу функції розподілу Вейбулла сумарної площі елементарних контактів, які мають певні незалежні значення межі міцності на розтяг σ , є функція щільності розподілу $f(\sigma)$.

Тоді, сумарну площу зразка можна записати у вигляді інтегралу від розподілу щільності в діапазоні від 0 до σ_{\max} (9)

$$S = \int_0^{\sigma_{\max}} f(\sigma) d\sigma \quad (9)$$

За умови постійного навантаження породи в процесі мікроруйнування бере участь тільки частина міжмінеральних зв'язків, міцність яких дорівнює, або є меншою, ніж напруження, зумовлене зовнішнім впливом. Виходячи з цього, більшому зовнішньому навантаженню - відповідно більша кількість елементарних міжмінеральних зв'язків, що залучаються до процесу руйнування.

Дане положення повністю узгоджується з явищем динамічної міцності, тобто короткотривалої здатності витримувати більші навантаження, ніж при статичних випробуваннях, що вивчалось багатьма вченими на прикладі кристалічних порід [8-12].

Отже, дія статичного навантаження протягом відносно більш тривалого часу зумовлює мікроруйнування і зменшення площі контакту (накопичення пошкоджень).

При зменшенні площі контакту та постійному значенні дії сили зростають внутрішні напруження за рахунок зменшення площі, на яку діє ця сила.

Тому, за певних значень руйнуючої сили, накопичення мікроефектів зі зменшенням площі контакту дійде до межі, коли залишаться лише найбільш міцні міжмінеральні контакти в породі, тобто виникне стан рівноваги і процес мікроруйнування зупиниться.

При незначному збільшенні навантаження - продовжиться подальший процес втрати площі контакту зі збільшенням напруг на ній, при цьому порода в кінцевому підсумку буде зруйнована повністю, а руйнування буде мати наростаючий неконтрольований характер.

Умова однакового стану буде забезпечуватися у випадку рівності сил, що діють на породу ззовні, та сил протидії мінеральних зв'язків, і буде вона мати вигляд

$$F_{ext} \geq F_{int};$$

Виразимо дану рівність через інтеграл щільності розподілу Вейбулла (10)

$$\sigma \int_0^{\sigma_{\max}} f(\sigma) d\sigma \geq (\sigma + d\sigma) \left(\int_0^{\sigma_{\max}} f(\sigma) d\sigma - \int_0^{\sigma} f(\sigma) d\sigma \right) \quad (10)$$

За певного значення σ виникає стан критичної рівноваги.

У випадку перевищення цього рівноважного значення відбудеться некероване остаточне руйнування каменю (11)

$$\sigma_{lim} = (\sigma + d\sigma) \quad (11)$$

Щодо технологічної реалізації процесу можна зауважити, що векторно виколовання блоків жорстко обумовлюється просторовою орієнтацією природних первинно-пластових та субвертикальних системних тріщин, у зв'язку з чим в інженерних розрахунках вноситься поправка, яка залежить від параметрів системної тріщинуватості породного масиву, речовинного заповнення та стану тріщин, від чого залежать сили опору зсуву (F_R) блоку при його відділенні від масиву (рис. 2).

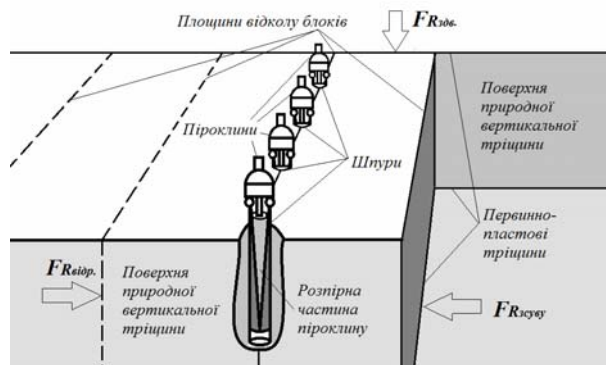


Рис. 2. Просторова орієнтація природних та штучних площин у породному масиві

Висновки. Оскільки загальний процес спрямованого руйнування кристалічних порід складається з ряду складних процесів мікро- та макроруйнування, які протікають паралельно, але, разом з тим, є взаємозалежними, а також з найбільш значимого в даному контексті процесу росту магістральних тріщин, і ці процеси протікають за різними законами в звичайній та субдинамічній постановці задачі руйнування.

їх доцільно описувати аналітично з комплексно-системним використанням енергетичної теорії руйнування, статистичного розподілу та теорії безструктурних моделей. Разом з тим означений підхід щодо аналітичного опису процесу субдинамічного руйнування порід вимагає в подальшому встановлення невідомих поки що допустимих границь застосування кожної окремої аналітичної залежності, відповідно до етапів і динаміки навантаження та напруження середовища, аж до повного його руйнування для забезпечення адекватності такого моделювання.

Список літератури

1. Реголь В.Р., Слущер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: Наука, №1947. – 560 с
2. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974. – 640 с.
3. Шашенко А.Н. Механика горных пород: учебн. [для студ. высш. учеб. завед.] / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко. – К.: Новий друк, 2004. – 400 с.
4. Малкин А.И., Куликов-Костюшко Ф.А., Шумихин Т.А. Статистическая кинетика квазихрупкого разрушения. Журнал технической физики / том 78, вып. 3. – С-Пб.: РАН, 2008. – С. 48-56.
5. Cho SH, Ogata Y, Kaneko K. Strain rate dependency of the dynamic tensile strength of rock. Int J Rock Mech Min Sci 2003; 40:763–77.
6. Cho SH. Dynamic fracture process analysis of rock, its application to fragmentation control in blasting. PhD Eng. thesis, Hokkaido University at Sapporo, Japan, 2003.
7. Cho SH, Kaneko K. Influence of the applied pressure waveform on the dynamic fracture processes in rock. Int J Rock Mech Min Sci 2004; 41:771-784.
8. Gregor M. Der Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf Schnitt und Andrückkraft bei Zerspannen von Kohle. - Glückauf – Forsch., 1968; №4. p.79-88.
9. Zhurkov C.N., Narzulaev B.M. Time-dependence of strength in solid body. Journ. Tech. Physic. 1953; part 23. S. 1677-1680.
10. Mindeli E. Fragmentation of focks. Nedra. 1974; p. 600.
11. Gilman J.J., Tuler F.R. Dynamic fracture by spallation in metals. - Intern. J. Fract. Mech. 1970; vol.6, №2. p. 169-182.
12. Obert L. Brittle fracture of rock. Mir. 1973; vol. 1, p. 59-128.

Рукопис подано до редакції 02.04.13

УДК 622.272: 624.191.5

С.А. ХАРИН, д-р техн. наук, доц., ОКВУЗ "Институт предпринимательства "Стратегия"

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ПРОГРАМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Эффективность работы шахт в немалой степени зависит от своевременности строительства на них новых гори-