

конструирование строительных систем. Проблемы механики в строительстве., №1, с. 32-36, 2012.

- [2] Г.М. Фельдман, *Методы расчета температурного режима мерзлых грунтов.* Москва, СССР: Наука, 1973.
- [3] И.З. Дроговейко, *Разрушение мерзлых грунтов взрывом.* Москва, СССР: Недра, 1981.
- [4] А. Крючков, «Закономірність швидкості розповсюдження повздовжніх сейсмічних хвиль в залежності від температури та вологості гірських порід» на VIII Міжнар. Наук.-практ. конф. Енергетика. Екологія. Людина, Київ, 2016, с. 13-15.

Стаття надійшла до редакції 23.05.2017р.

УДК 622.255.5:539.43

DOI 10.20535/2079-5688.2017.34.102220

Ю.І. Войтенко, д.т.н., головний науковий співробітник, **О.В. Ковтун**, провідний інженер-геолог (Український державний геологорозвідувальний інститут)

ПРО В'ЯЗКЕ ТА КРИХКЕ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ УДАРИ ТА ВИБУХУ

Yu.I. Voitenko, O.V. Kovtun (Ukrainian State Geological Research Institute)

ON FRACTURING OF BRITTLE AND DUCTILE ROCKS BY IMPACT AND EXPLOSION

В статті проаналізовано відомі критерії крихкого та в'язкого руйнування гірських порід та модельних матеріалів. Показано, що для оцінки крихкості руйнування при ударі та вибуху найкраще підходять критерії, запропоновані Г.П. Черепановим і А.С. Баланкіним. Виходячи із цих критеріїв переважна більшість гірських порід руйнується як крихкі матеріали з утворенням дисипативних структур (ДС), в тому числі ДС у вигляді рівномірно розподілених мікротріщин по об'єму гірської породи за винятком вузького класу глинистих осадових порід та деяких сортів вугілля, де переважно створюється ДС у вигляді зони пластичної деформації. Формування дисипативних структур у вигляді локальних мікро- та макротріщин при дії вибуху та удару в монолітних породах має хвильову природу.

Ключові слова: в'язке та крихке руйнування; розміщення; коефіцієнт інтенсивності напруг; вибух; удар; дисипативна структура.

В статье проанализированы известные критерии хрупкого и вязкого разрушения горных пород и модельных материалов. Показано, что для оценки хрупкости разрушения при ударе и взрыве лучше всего подходят критерии, предложенные Черепановым Г.П. и

Баланкиным А.С. Исходя из этих критериев подавляющее большинство горных пород разрушается как хрупкие материалы с образованием диссипативных структур (ДС), в том числе ДС в виде равномерно распределенных микротрещин по объему горной породы за исключением узкого класса глинистых осадочных пород и некоторых сортов угля, где преимущественно создается ДС в виде зоны деформации. Формирование диссипативных структур в виде локальных микро- и макротрещин при воздействии взрыва и удара в монолитных породах имеет волновую природу.

Ключевые слова: вязкое и хрупкое разрушение; разупрочнение; коэффициент интенсивности напряжений; взрыв; удар; диссипативная структура.

The article analyzes the known criteria of brittle and ductile fracturing of rocks and model materials. It is shown that for the evaluation of fracture fragility under the impact and explosion the best preferred criteria are proposed by Cherepanov G.P. and Balankin A.S. Based on these criteria, the vast majority of rocks collapse as brittle materials to form dissipative structures (DS), including the DS in the form of equally distributed local microcracks in the volume of rock except for a narrow class of argillaceous rocks and some varieties of coal, in which DS is being created mainly in the form of plastic deformation zone. The formation of dissipative structures in the form of local micro and macrocracks under the explosion and impact in monolithic rocks has the wave nature.

Keywords: ductile and brittle fracture ;loss of strength; stress intensity factors; explosion; impact; dissipative structure.

Вступ. Відомо, що гірські породи (ГП) характеризуються фізико-механічними властивостями, далекими від ідеальної пружності [1]. Причому широке розмаїття цих властивостей пояснюється не лише мінеральним складом та нерівномірністю розподілу компонент мінерального скелету, але й тим, що ГП фактично є середовищами із структурою. Структурними елементами, які визначають як пружні, пластичні, реологічні, міцнісні та інші фізико-механічні властивості ГП в масиві та в геологічних формаціях є пори та тріщини в широкому розумінні цих понять: нано-, мезо-, мікро- пори та тріщини; каверни, карстові порожнини та макротріщини. Цей ряд можна доповнити дефектами (вакансіями, дислокаціями) кристалічної решітки (знизу) і мегаоб'єктами – тектонічними розривами та розломами. Останні враховуються лише в задачах глобальної геодинаміки, прогнозу та пошуку родовищ природних вуглеводнів, землетрусів, тощо.

Питання поведінки середовищ із структурою досліджувалося в кількох, в тому числі нових розділах фізики твердого тіла:

- фрактальна механіка і динаміка руйнування;
- синергетика деформованих середовищ [2]-[4].

Науковою базою для цих напрямків в фізиці і механіці є теорія фракталів, синергетика, нелінійна динаміка і теорія дисипативних структур.

Необхідно зазначити, що фрактальна механіка успішно описує не лише поведінку твердих та рідких середовищ із структурою, але й багато природних явищ технологічних процесів, наприклад деформування в умовах високих тисків і температур, сумішевих порошкових композицій [4]. Зауважимо, що фрактальна механіка руйнування дозволяє описати залежність критичного значення коефіцієнта інтенсивності напружень фрактальної тріщини K_{Ic}^f від

фрактальної розмірності D_f і масштабу вимірювання Δl : $K_{lc}^f = K_{lc} \Delta l^{0,5(1-D_f)}$, де K_{lc} – критичний коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) для тріщини в макромасштабі (в'язкість руйнування).

Згідно [2] будь-яка фізико-механічна дія виводить деформоване тіло із стану термодинамічної рівноваги, так як внаслідок зсувної нестійкості в негідростатично напруженому тілі порушується властивість адитивності енергії і ентропії. Тому відгук твердого тіла визначається процесами виробництва ентропії і перерозподілу енергії як всередині тіла, так і між деформованим тілом і навколишнім середовищем.

В результаті відбувається самоорганізація деформованого середовища, яка супроводжується формуванням ієрархії дисипативних структур (ДС) нано-, мезо-, мікро- і макроскопічних масштабів. Прикладами таких структур можуть бути зони дробіння порід, пластичної деформації, радіальних тріщин, розміщення за межами радіальних тріщин [1]; зона мікро- і можливо нанодфектів при взаємодії високошвидкісного ударника, наприклад ударного ядра (УЯ) кумулятивного заряду з ГП [5]; області мікродефектів та мікротріщин в зернах та на границях зерен ГП при дії хвиль стиснення та розтягу в обмежених зразках [6]; зони радіальних тріщин та дилантансії при кумуфлетних вибухах в умовах гірського тиску та у разі його відсутності [7], [8]; зони випаровування, плавлення, радіальних тріщин та зона розміщення при підземних ядерних вибухах.

Розміри та кількість ДС визначаються не лише енергією вибуху та удару, а й властивостями ГП: структурою і текстурою, розмірами зерен, властивостями мінералів, пористістю, крихкістю, пластичністю, кінетичними та масштабними фазовими переходами.

Особливе значення для практики буро-вибухових робіт мають ДС, в яких відбувається розміщення гірських порід. Утворення таких ДС використовується в технологіях інтенсифікації нафто- та газовидобутку, підземного вилуговування металів, в сучасних технологіях буріння свердловин, опосередковано в технологіях відкритих та підземних гірничих робіт [5] – [8].

Мета роботи – визначити основні чинники, що впливають на процес утворення ДС у вигляді областей розміщення і по можливості оцінити критичні значення основних параметрів, які впливають на цей процес.

Результати досліджень. Науковий напрямок досліджень формування таких ДС, представлений роботами [2]-[11], базується на застосуванні методів механіки гірських порід, механіки підземного вибуху та механіки руйнування. Основні результати досліджень зводяться до наступних.

Згідно [7] ДС у вигляді зони розміщення, розуцільнення (за А.В. Михалюком) утворюються при взаємодії хвиль від двох і більше камуфлетних вибухів за межами зони радіальних тріщин, якщо інтенсивність зсувних напружень в області взаємодії $\tau = \sigma_1 - \sigma_3$ досягається на рівні $\sim (0,6 - 0,8) \sigma_c$, де $\sigma_1, \sigma_3, \sigma_c$ – значення відповідно головних компонент тензора напруг; σ_c – міцність ГП на стиснення. Другою умовою утворення таких ДС є негідростатичність (нерівномірність за А.В. Михалюком) напружено

деформованого стану (НДС), коли $\zeta = \sigma_3 / \sigma_1 \leq 0,3$. При цьому, чим менше значення ζ , тим раніше починається і інтенсивніше відбувається формування ДС.

Згідно [8], [9], [11] зміна розмірів мікродефектів і макротріщин розміром l_0 за межами зони радіальних тріщин відбувається за рахунок розтягуючих напружень $\Delta\sigma$ за умови $(\Delta\sigma - q)\sqrt{\pi l_0} > K_{Ic}$, де K_{Ic} – тріщиностійкість ГП, q – гірський тиск граничної рівноваги початкової мікро- чи макротріщини. Додатковою умовою росту тріщин є критерій згідно якого тривалість імпульсу розтягування не менший, ніж інкубаційний період росту тріщини. Із фізичних міркувань критерій такого типу є загальним для всіх видів динамічних навантажень, в тому числі для зсувних напруг та відкольних явищ уразі взаємодії хвиль розтягу – стиснення біля вільних поверхонь.

В роботі [8] показано, що розсіяна мікротріщинуватість в області непружного деформування ГП не описується монотонною функцією. Вона досягає максимуму на відстані 15 – 20 радіусів заряду, проникаючи в зону радіальних тріщин. Простягається в крупнозернистому пісковіку на відстань до 60 – 65 радіусів заряду. У разі циліндричної симетрії заряду – до 100 радіусів заряду. Середній розмір мікротріщини – 100 мкм, ширина ~ 10 мкм. Переважна більшість тріщин – внутрішньо кристалічна.

Характерно, що радіус зони розміщення збільшується з ростом потужності - швидкості детонації ВР і зменшенням часу наростання тиску у вибуховій порожнині. При збільшенні часу наростання тиску і зменшенні швидкості навантаження при певних їхніх значеннях феномен розміщення породи зникає: відбувається зміна механізму руйнування і розміщення з хвильового на квазістатичний з утворенням кількох магістральних тріщин в режимі газоімпульсного розриву [9]. Про це свідчать також численні роботи про значення тривалості вибухового імпульсу та її роль в покращенні ефективності та якості дробіння ГП. Зокрема автори роботи [10] одним із шляхів зменшення пошкодження цінної кристалосировини вбачають в зниженні вибухового імпульсу та збільшенні його тривалості.

В роботі [9] показано, що в попередньо напружених ГП у разі дії гірського тиску на глибинах ≥ 1000 м, підростання макротріщин можливе лише в полі динамічних напружень зсуву. Враховуючи відмінності в поведінці попередньо напружених ГП і не напружених ГП, при цьому використовуються критерії руйнування для попередньо напружених ГП.

Одним із маловивчених питань фізики і механіки деформування ГП є вплив пластичних компонент та чинників, наприклад, глинистого цементу, а також пористості на крихкий чи пластичний характер та вид ДС, які формуються під дією підземного вибуху або удару. Із фізичних міркувань та відомих експериментальних даних замість зони розміщення в таких ГП утворюється зона пластичної деформації. Для відповіді на питання про механізм деформування пористих ГП з пластичною складовою в мінеральному складі автором монографії [7] запропонована класифікація ГП по схильності до розущільнення – розміщення в умовах негідростатичного НДС достатньо

високої нерівномірності, яка не дає достатньо чіткої диференціації по групам ГП і не дає простих критеріїв віднесення ГП до крихких чи пластичних. В той же час практична задача вибору об'єктів, підходящих для вибухових обробок і прогнозу поведінки ГП при дії вибуху вимагає простих достовірних оцінок.

Синергетика деформованого твердого тіла та фрактальна механіка руйнування дають простий критерій, який відповідає за механізми руйнування ГП при ударі або при детонації заряду [11]:

$$R_{кр} = \frac{\sigma_{II}}{\sqrt{2}\tau_{II}}, \quad (1)$$

У формулі (1) σ_{II} і τ_{II} – опір матеріалу на відрив та зсув. Руйнування буде крихким, якщо $R_{кр} < 1/\sqrt{2}$, в'язким при $R_{кр} > 1$, в'язкокрихким у випадку $R_{кр} > 1/\sqrt{2}$. В загальному випадку $R_{кр}$ залежить як від швидкості і величини навантаження, так і від виду НДС. У випадку достатньо високих швидкостей деформування $R_{кр}$ співпадає з $Re_{кр}$. $Re_{кр}$ - критичне значення числа Рейнольдса, при якому відбувається перехід від ламінарного до турбулентного руху у разі великих швидкостей деформації в процесах проникнення високошвидкісних ударників та кумулятивних струменів ($\sim 10^3 \dots 10^5 \text{ c}^{-1}$).

Автори монографії [12] запропонували аналогічне оціночне співвідношення:

- при $\sigma_{II}/\tau_{II} < 2$ – руйнування крихке;
- при $\sigma_{II}/\tau_{II} \approx 1$ – квазікрихке руйнування;
- при $\sigma_{II}/\tau_{II} > 2$ - в'язке або пластичне руйнування.

Зазначимо, що співвідношення з використанням параметра $R_{кр}$ викликають більшу довіру, бо отримані на основі квантово-механічного підходу [11]. Крім того, в критеріях, записаних в монографії [12] є протиріччя: умова квазікрихкого руйнування $\sigma_{II}/\tau_{II} \approx 1$ попадає в область дії критерію крихкого руйнування.

Простий критерій для оцінки крихкості запропоновано Черепановим Г.П. [13]. Наприклад, для точкового (сферичного) заряду

$$\sigma_c^5 C \gg K_{lc}^6, \quad (2)$$

де σ_c – міцність на стиснення, C – енергія заряду, K_{lc} – в'язкість руйнування ГП.

Якщо проаналізувати відомі дані з опору гірських порід відриву та зсуву за критеріями (1) і (2), то навіть поверхневий аналіз показує, що переважна більшість порід руйнуються як крихкі матеріали, тому, що умова $\sigma_{II} < \tau_{II}$ виконується для переважної більшості гірських порід, а умова (2) – для промислових мас зарядів ВР, осадових порід та порід фундаменту (міцні пісковики, вапняки та граніти)].

Аналогічні співвідношення для крихких і квазікрихких тіл отримані в класичній механіці руйнування: $K_1 < K_{11}$, $K_1 < K_{111}$, де K_1 , K_{11} , K_{111} – критичні коефіцієнти інтенсивності напружень (КІН) при відриві, поперечному поздовжньому зсуві. Для крихких матеріалів величина питомої поверхневої енергії γ також суттєво менша при нормальному розриві, ніж при зсуві.

Виняток в цьому переліку складають такі породи: деякі сорти кам'яного вугілля, алевроліти, пісковики малої міцності, глинисті сланці. Коефіцієнт міцності по М.М. Протодьяконову для цих порід $f \approx 1,5 - 8$ [12]. Проте окремі види ГП з $f \geq 15 - 18$ також характеризуються як в'язкокрихкі і в'язкі [12]. Переважна більшість конструкційних і будівельних матеріалів руйнуються як крихкі і квазікрихкі за винятком деякого класу матеріалів:

- деякі пластмаси [14];
- пінополістироли ($\sigma_{II} \approx 2\tau_{II}$) [15].

Алюмінієві сплави при нормальній температурі руйнуються як в'язкі ($\sigma_{II} \approx 2\tau_{II}$) матеріали, теж саме стосується переважної більшості металів.

Для оцінки параметра $R_{кр}$ для простих схем квазістатичного навантаження, окрім прямих випробувань зразків ГП на розрив та зсув, можуть бути використані сучасні моделі і засоби вимірювання мікротвердості та кривих деформування [5].

Тоді $R_{кр}$ можна знайти із співвідношення [11]

$$H_v = (1 + 2R_{кр}^{-1})\sigma_\tau, \quad (3)$$

де H_v – твердість за Віккерсом, σ_τ – межа пластичності матеріалу.

Задача знаходження аналогічних кореляційних залежностей для ГП, які характеризуються в'язко-крихким та в'язким руйнуванням є актуальною і представляє науковий і практичний інтерес для гірничої та нафтогазовидобувної промисловості. Вона частково може бути вирішена за допомогою сучасних інструментальних засобів: нано- та мікроіденторів в режимі безперервного запису кривої стиснення (проникнення).

Зазначимо, що класична (не фрактальна) динамічна механіка руйнування також дозволяє прогнозувати характер руйнування при ударі та вибуху через залежності динамічної в'язкості руйнування від швидкості тріщини $K_{ID}(\dot{l})$. Враховуючи, що енергія руйнування пропорційна квадрату в'язкості руйнування, такі залежності показують режими навантаження і розповсюдження тріщин, при яких матеріал руйнується як в'язкий (в'язко-крихкий), а при яких – крихкий. В цьому сенсі показовою є залежність $K_{ID}(\dot{l})$ для ПММА [16].

При швидкості $\dot{l} \approx 0 \dots 50$ м/с K_{ID} зменшується від $\approx 2,5$ до $0,5$ МН/м^{3/2}. При $\dot{l} = 50$ м/с ≈ 100 м/с $K_{ID} \approx 0,5 - 2,5$ МН/м^{3/2} ($K_{Ic} \approx 1,1$ МН/м^{3/2}). Потім крива виходить приблизно на полицю з $K_{ID} \approx 2,5$ МН/м^{3/2}, а при $\dot{l} \geq 350 - 400$ м/с K_{ID} різко зростає, досягаючи значень ~ 5 МН/м^{3/2} при $\dot{l} = 450$ м/с. Тобто, при $\dot{l} \leq 30 - 40$ м/с та $\dot{l} \geq 100$ м/с матеріал руйнується як в'язкий або в'язко-крихкий, а в діапазоні між цими значеннями – як крихкий. Аналогічні слабкі залежності $K_{ID}(\dot{l})$ для скла і кераміки в даній роботі показують, що ці матеріали руйнуються переважно за крихким механізмом в усьому діапазоні зміни K_{ID} . На жаль таких залежностей для матеріалів надзвичайно мало, а для гірських порід вони взагалі відсутні. До речі, про такий характер руйнування ПММА в указаних діапазонах руху тріщин свідчить розмір виступів (шорсткість) на поверхні тріщини (рис. 1). На рис. 1 внутрішня область ближча до свердловини

з слідами пластичної деформації, концентричними круговими лініями – область тріщини в'язко-крихкого гідророзриву ($\dot{l} \approx 0...50$ м/с). Зовнішня область з гладкою поверхнею – результат імпульсного крихкого газового розриву при детонації майже чистого ацетилену ($\dot{l} \sim 100$ м/с) [9].

Альтернативою таким експериментам можуть бути різноманітні схеми динамічного навантаження [6] – [8] з наступним аналізом стану зразків методами сучасної потужної електронної мікроскопії з урахуванням впливу ефекту розвантаження на стан дефектів.



Рис. 1. Морфологія поверхні тріщини розриву в ПММА

Нагадаємо, що в структурних моделях руйнування крихке руйнування пов'язують з наявністю кристалічного злому, який формується наявністю фасеток сколу та квазісколу, а в'язке – переважно з розвитком пор і мікротріщин, що може бути корисним для аналізу морфології поверхні тріщини. Питання фізичних механізмів, мікроскопічних теорій руйнування, впливу НДС у вершині тріщини на механізми руйнування не входять в задачу заданої статті. Читач може знайти висвітлення цих питань у фундаментальних монографіях з механіки та фізики руйнування, наприклад, таких як [17].

На завершення відмітимо, що практичне значення ДС у вигляді зони перед руйнування полягає у тому, що в методах короткосповільненого підривання (КСП) системи свердловинних зарядів вибух первинного заряду, чи групи зарядів в околі дії суміжних зарядів періодично формує масив ГП, ослаблений локальними мікротріщинами (а також макротріщинами) на відстані, яка визначається інтервалом сповільнення ($\sim 10^{-3}$ с), та швидкістю

хвилі тангенціальних напружень. Межа цієї відстані досягає кількох метрів [18]. Тому ефективність дробіння забезпечується не лише суперпозицією хвиль напружень, як показано у [18], але й циклічним ослабленням ГП в технологіях КСП.

Висновки

Формування дисипативних структур у формі локальних мікро- та макротріщин при дії вибуху та удару в монолітних породах має хвильову природу. Основна умова утворення ДС у вигляді зон розміцнення та перед руйнування – наявність початкової розсіяної мезо- та мікротріщинуватості, контрастних властивостей мінералів в зернах і крихкі властивості ГП. Відповідно до критеріїв Черепанова Г.П. та Баланкіна А.С. переважна більшість гірських порід при ударі та вибуху руйнуються як крихкі середовища. Виняток складають деякі види глинистих осадових порід, деякі сорти вугілля, а також глинисті породи осадового чохла в умовах високих тисків та температур. Для оцінки крихкості руйнування достатньо визначити міцність на відрив та зсув, або на стиснення та відрив за методикою механіки руйнування.

Посилання

- [1] В. Н. Родионов, И. А. Сизов, и В. М. Цветков, *Основы геомеханики*. Москва, Россия: Недра, 1986.
- [2] А. С. Баланкин, "Синергетика и механика деформируемого тела", *Письма в журнал технической физики*, т. 15, № 22, с. 15 – 19, 1989.
- [3] А. С. Баланкин, "Фрактальная динамика разрушения", *Письма в ЖТФ*, т. 17. № 11, с. 9 – 13, 1991.
- [4] А. С. Баланкин, В. С. Иванова, А. А. Колесников, и Е. Е. Савицкая, "Фрактальная кинетика самоорганизации диссипативных структур в процессе механического легирования в атриторах", *Письма в ЖТФ*, т.17. № 14, с. 27 – 30, 1991.
- [5] О. Terentiev and P. Gontar "Rocks fracturing with explosive-mechanical means", *Вісник Національного технічного університету "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво"*. Вып. 28, с. 71 – 76, 2015.
- [6] Ю. С. Мец, "Интенсификация взрывного дробления и разуплотнения железистых кварцитов", *Взрывное дело*. Сборник №86/43, с. 81 – 95, 1984.
- [7] А. В. Михалюк, *Торпедирование и импульсный гидроразрыв пластов*. Киев, Украина: Наук.думка, 1986.
- [8] А. Н. Кочанов и В. Н. Одинцев, "Волновое предразрушение монолитных горных пород при взрыве", *Физ.-техн. пробл. разработки полез.ископаемых*. № 6, с. 38 – 48, 2016.
- [9] Ю. І. Войтенко, "Фізико-технічні основи свердловинних геотехнологій з керуванням тріщиноутворенням", дис. доктора техн. наук, 05.15.11, Київ, Україна, 2000.

- [10] А. А. Вовк, А. В. Михалюк, та В. В. Рудаков, "Керування вибуховим імпульсом при селективному руйнуванні порід з розсіяними кристалічними включеннями", *Вісник академії наук Української РСР*. №1, с. 47- 59, 1984.
- [11] А. С. Баланкин, "Самоорганизация и диссипативные структуры в деформируемом теле", *Письма в ЖТФ*, т. 6, вып. 7, с. 14-20, 1990.
- [12] В. Н. Мосинец и А.В. Абрамов, *Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород*. Москва, Россия: Недра, 1982.
- [13] Г. П. Черепанов, *Механика хрупкого разрушения*. Москва, Россия: Наука, 1974.
- [14] Ю. М. Лахтин и В. П. Леонтьева. *Материаловедение*. Москва, Россия: Машиностроение, 1990.
- [15] Компании «Дау Кемикал» [Электронный ресурс] Доступно: <http://building.dow.com/europe/ru/prod/styrofoam/sfgeo350a.htm>
- [16] Дж. Конглтон и Б. Дентон, "Измерение быстрого роста трещин в металлах и неметаллах", *Механика разрушения. Быстрое разрушение, остановка трещин*, Москва, Россия: Мир, с. 172-198, 1981.
- [17] В. Т. Трощенко, А. Я. Красовский, В. В. Покровский, Л. А. Сосновский, и В. О. Стрижало, *Сопротивление материалов деформированию и разрушению. Справочник*. Киев, Украина: Наукова думка, 1994.
- [18] О. О. Фролов, В. З. Ващук, В. Т. Моденко, та А. В. Куляпіна, "Встановлення закономірностей руйнування гірських порід вибухом свердловинних зарядів зі сповільненням", *Вісник Національного технічного університету "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво"*, № 32, с. 44 – 51, 2017.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2017 р.

УДК 624.22

DOI 10.20535/2079-5688.2017.34.111124

С.М. Стовпник, к.т.н., доцент, **О.С. Осипов**, аспірант (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

ГЕОМЕХАНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ТЕКТОНІЧНО ПОРУШЕНОГО МАСИВУ НА ПЕРІОД СПОРУДЖЕННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНОГО ТУНЕЛЮ

S.N. Stovpnyk, A.S. Osypov (National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute")

THE GEOMECHANICAL CONFIRMATION OF METHODS FOR STABILIZATION OF TECTONIC MASS ROCKS FOR PERIOD OF BUILDING THE TUNNEL OF BIGGEST DIMENSIONS