

11 Орлов А.А. О возможности разуплотнения горных пород под давлением. – Львов, ИГГГи, 1981. – С. 12-14.

12 Орлов А.А., Корнилов Д.Н. О связи между неотектоническими движениями и сверхгидростатическими давлениями в Терско-Каспийском прогибе // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1985. – № 2. – С. 14-16.

13 Орлов А.А., Ляху М.В., Чорний М.І., Омельченко В.Г. Изучение экранирующих свойств карбонатных пород верхнего мела Керченского полуострова на установке УИПК-1М: Материалы Всесоюзного совещания. – Львов, 1988. – С. 188-190.

14 Орлов О.О. Виявлення нафтопродуктующих пород у Карпатах // Нафтова і газова промисловість. – 1992. – № 2. – С. 10-11.

15 Орлов О.О., Євдошук М.І., Омельченко В.Г., Трубенко О.М. Проблемы пошуків і розвідки родовищ нафти і газу на великих глибинах // Сб. наук. праць ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ: Факел, 2005. – С. 34-45.

16 Патент України Спосіб пошуку склепін антиклінальних структур при бурінні. Орлов О.О., Трубенко О.М., Локтев А.В., Чорний М.І., Омельченко В.Г. 2002, бюл. № 7, 5 с.

17 Орлов О.О., Євдошук М.І., Омельченко В.Г., Трубенко О.М., Чорний М.І. Нафтогазо-промислова геологія: Підручник. – Київ: Наукова думка, 2005. – 432 с.

18 Ситников М.Ф. Об условиях возникновения аномально-низких пластовых давлений и усилении вторичной миграции нефти и газа в период их формирования // Геология нефти и газа. – 1975. – № 11. – С. 60-65.

19 Тарасов Б.Г., Орлов А.А. Прогнозирование ударо- и выбросоопасности в массивах горных пород // Безопасность труда в промышленности. – 1980. – № 12. – С. 23-25.

20 Щелкачев В.М. Разработка нефотегазоносных пластов при упругом режиме. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – 467 с.

21 Orlov A.A. Territoires pétroli-gazeifères et les gisements du pétrole et du gas de l'Algérie et l'URSS.- Algérie (Boumerdès): Inst. Nationale des Hydrocarbures, 1972, 99 p.

22 Hast N., Nilson T. Resept rock pressure in mines. – Sver. Geol.undersökn, ser. Arsbok, Stookholm, 1958, v.52, №3 – 193 h with ill.

УДК 622.24.026

## ДО ПИТАННЯ ПРО ЧИННИК ЧАСУ ПРИ ДЕФОРМУВАННІ ТА РУЙНУВАННІ ГІРСЬКИХ ПОРІД В МАСИВІ

<sup>1</sup>Е.М.Барановський, <sup>2</sup>В.М.Мойсишин, <sup>2</sup>Ю.З.Червак

<sup>1</sup> Комплексна лабораторія технології буріння та кріплення свердловин ПВ УкрДГРІ; 79018, м. Львів, вул. Тургенєва, 33; кімн. 45; тел. (032) 2373126; e-mail: pvukrdgri@mail.lviv.ua

<sup>2</sup> ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42123, e-mail: math@nung.edu.ua

Для оцінки часового критерія деформування і руйнування породи в умовах глибокого буріння пропонується параметр, який представляє собою інтенсивність виділення горним масивом потенціальної енергії зміни об'єму за одиницю часу. При визначенні можливості використання для цих цілей явища дискування ядра пропонується параметр, який представляє собою інтенсивність виділення потенціальної енергії зміни форми стовпиком ядра за одиницю часу. На основі цих параметрів виділено дві концепції деформування і руйнування горних порід.

Відомо, що гірський масив має складну структуру, в якій при проведенні гірничих робіт відбуваються практично всі види складних процесів деформування і руйнування – від хаотичного до упорядкованого розшарування, зсування і зміщення. Вид процесів, як правило, залежить від умов проведення гірничих робіт, кріплення виробок та умов їх збереження в процесі експлуатації.

For estimation of temporal criterion of deformation and destruction of breed in the conditions of the deep boring drilling a parameter which is intensity of selection by the mountain range of potential energy of change of volume for time unit is offered. At the decision of possibility for these aims of the phenomenon of diskovation of kern a parameter being the column of intensity of selection of potential energy of change of form of kern for time unit is offered. On the basis of these parameters two conceptions of deformation are selected and destruction of mountain breeds

Значний обсяг наукових праць присвячено дослідженню процесів деформування і руйнування гірських порід в часі. Це пов'язано з рядом виробничих причин та з певною невідповідністю результатів лабораторних досліджень зразків реальним процесам, що спостерігаються в масиві гірських порід. В першу чергу, це стосується умов, при яких гравітаційні чи тектонічні напруження значно перевищують одно-

осьову міцність порід. З достатньо великої кількості причин такої невідповідності зупинимось на процесах деформування і руйнування, як найбільш впливових.

Багато авторів, які досліджують процеси деформування і руйнування порід в часі, користуються діаграмами випробування зразків, що отримані при їх навантаженні, в той час як в реальних умовах відбувається більш складний процес розвантаження від напружень, які зазнають породи в геологічний проміжок часу. Тривалість перебування порід під навантаженням впливає на їх властивості. Породи стають більш щільними та крихкими [1]. З цієї точки зору стає очевидним, що рівень початкових напружень в масиві порід суттєво впливає як на характер деформування і руйнування порід, так і на часові характеристики цих процесів.

Слід зазначити, що при випробуванні зразків порід швидкість деформування може змінюватись в широких межах незалежно від фізико-механічних властивостей деформованого матеріалу [2]. У гірському масиві швидкість деформування визначається величиною початкових напружень, властивостями порід та гірничо-геологічною ситуацією. Впливати на неї можливо тільки за рахунок зміни швидкості напруженого стану масиву (швидкості проведення гірничої виробки, буріння і т. п.) [3].

Процес деформування порід визначається внутрішніми деформаційними властивостями самих порід. В роботі [4] вказується, що поведінка і руйнування порід оцінюються різними класичними критеріями: стійкістю, міцністю та іншими. Використання їх в механіці гірських порід дає відповідь на питання про можливість локального руйнування, однак вони не дозволяють проводити комплексну оцінку руйнування і визначити його характер. В деякій мірі цей недолік доповнюють енергетичні критерії оцінки стану системи та показник Надаї-Лоде [5]. Знаючи компоненти напружень або деформацій можна визначити характер деформування і руйнування виробки. Оцінка характеру, вірніше, виду руйнування, наведена в роботі [6], де автор аналізує напружений стан і визначає руйнування відривом, зсувом або стисненням. Проте руйнування тільки відривом або тільки зсувом практично неможливе [7]. Динамічні умови руйнування в цьому випадку залишаються не виясненими, потрібно більш детально розглянути процес деформування і руйнування крихких порід в часі.

У роботах [8,9] розглянуто ряд оригінальних досліджень, що стосуються даної проблеми. Зокрема заслуговують на увагу результати дослідження процесу дискування керн викидонебезпечних пісковиків Донбасу. Кількісно змінювався цілий ряд чинників, серед них – і тривалість попереднього навантаження порід. Незважаючи на широкий діапазон зміни відносних напружень  $\sigma_z/R_c$ , в жодному випадку не спостерігалось дискування керн, якщо його вибурування починали відразу після навантаження. Тут  $\sigma_z$  – напруження, яке прикладене

до торця керн, а  $R_c$  – міцність пісковика на стиснення при одноосьовому навантаженні. При обробці отриманих даних за різними показниками, що пов'язані з чинником часу, отримано підтвердження існування часового критерію деформування породи при знятті навантажень.

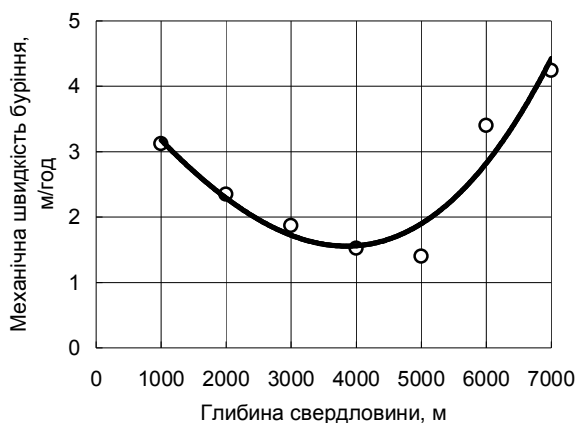
Для встановлення впливу початкових відносних напружень на швидкість деформування порід в натурних умовах авторами роботи [8] розроблена методика лабораторних експериментів на моделях із еквівалентних матеріалів. Дослідження показали, що величина початкових напружень в умовах великих глибин чинить суттєвий вплив на швидкість деформування контура виробки.

Однак перенесення у практику глибокого буріння результатів отриманих досліджень неможливе. Це пов'язано з тим, що процес буріння свердловини має специфічні особливості в порівнянні з проведенням гірничих виробок. Серед них в першу чергу слід відзначити відсутність прямого доступу до вибою, наявність гідростатичного тиску в свердловині, а також регулювання процесів взаємодії бурового розчину з гірськими породами.

Розглянемо деякі результати досліджень проведених останніми роками, які так чи інакше торкаються даної теми. Донедавна вважалося, що формування еліпсного чи кавернозного ствола відбувається безпосередньо при розкритті розрізу в зоні роботи породоруйнівного інструмента. Дослідження на Кольській надглибокій свердловині (СГ-3) [10] засвідчили, що в різних інтервалах процес формування стовбура може проходити за різними, інколи з різницею у декілька порядків, час, який залежить від безлічі чинників як геолого-тектонічного, так і техногенного характеру. В роботі [11] розглядається можливість використання енергії гірського масиву при вирішенні проблем стійкості стовбура свердловини. Для умов глибокого буріння підтверджена гіпотеза про те, що руйнування породи довкола гірничої виробки проходить до тих пір, поки вона не прийме форму еліпса або в її стінці не утвориться порожнина близька за формою до кульової.

У результаті проведених досліджень [12] встановлено, що при бурінні з відбором керн з певної глибини починається стійке зменшення довжини стовпчика вибуреної породи, яке поступово переходить у так зване явище дискування керн. Для визначення початку дискування керн використано теорію пружної енергії формозміни. Встановлено вплив питомої потенціальної енергії зміни об'єму на механічну швидкість буріння при комбінованому руйнуванні гірської породи в процесі відбору керн.

Використовуючи результати експериментальних робіт, проведених на свердловині СГ-3, побудовано графік (рис.1), на якому представлено характер зміни механічної швидкості буріння від глибини свердловини. Як видно із графіка механічна швидкість буріння до глибини близько 5000 м знижується, а далі починає зростати. Таким чином, результати проведених



**Рисунок 1 – Характер зміни механічної швидкості буріння залежно від глибини свердловини**

досліджень засвідчують, що для умов глибокого буріння головним чинником, який впливає на геомеханічні процеси в часі, є механічна швидкість буріння.

Для оцінки часового критерію деформування і руйнування породи нами запропоновано параметр, що характеризує інтенсивність виділення гірським масивом потенціальної енергії зміни об'єму за одиницю часу ( $U_{обт}$ ) в залежності від величини механічної швидкості буріння. Він визначається за формулою

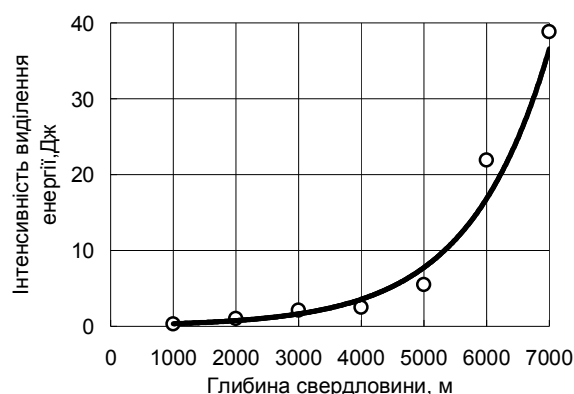
$$U_{обт} = u_{об} V_n, \quad (1)$$

де:  $u_{об}$  – питома потенціальна енергія зміни об'єму;  $V_n$  – об'єм вибуреної породи за одиницю часу.

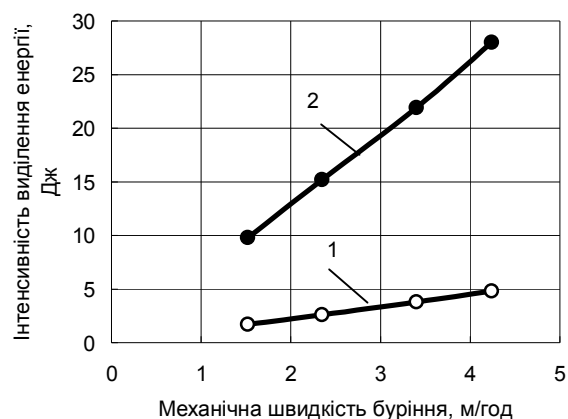
За даною формулою зроблено розрахунки для свердловини СГ-3, результати яких подано у вигляді графіка (рис. 2). На ньому представлено залежність інтенсивності виділення потенціальної енергії зміни об'єму за одиницю часу від глибини свердловини при  $u_{об} \neq const$ ,  $V_n \neq const$ . Як видно із графіка до глибини 4000м зростання інтенсивності виділення енергії відбувається поступово. Подальше її зростання проходить більш стрімко, що свідчить про зміну способу руйнування породи – перехід від механічного до комбінованого руйнування породи [13].

На рис. 3 представлено графік залежності інтенсивності виділення енергії від механічної швидкості буріння при  $u_{об} = const$ ,  $V_n \neq const$ . При механічному способі руйнування породи зміна механічної швидкості буріння приводить до плавного зростання інтенсивності виділення енергії, а при комбінованому руйнуванні породи – до стрімкого зростання.

Розглянемо можливість використання явища дискування керн для оцінки часового критерію деформування і руйнування гірської породи. За фактичними даними з відбору керн, які отримані на свердловині СГ-3, на графіку (рис. 4) представлено співвідношення між механічною швидкістю буріння та середньою довжиною стовпчика керн. Як видно із графіка,



**Рисунок 2 – Залежність інтенсивності виділення енергії зміни об'єму за одиницю часу ( $t=1$  с) від глибини свердловини**



**Рисунок 3 – Залежність інтенсивності виділення енергії зміни об'єму за одиницю часу ( $t=1$ с) від механічної швидкості буріння при механічному (1) і комбінованому (2) руйнуванні породи**



**Рисунок 4 – Співвідношення між механічною швидкістю буріння та інтенсивністю виділення енергії зміни форми за одиницю часу ( $t=1$ с) (1), між механічною швидкістю буріння і середньою довжиною стовпчика керн (2)**

зниження механічної швидкості буріння приводить до зростання середньої довжини стовпчика керн, а її збільшення – до зменшення середньої довжини стовпчика керн.

При дискуванні керна для оцінки часового критерію деформування і руйнування породи взято параметр, що характеризує інтенсивність виділення потенціальної енергії зміни форми ( $U_{\phi_t}$ ) стовпчиком керна за одиницю часу в залежності від величини механічної швидкості буріння. Він визначається за формулою

$$U_{\phi_t} = u_{\phi} V_k, \quad (2)$$

де:  $u_{\phi}$  – питома потенціальна енергія зміни форми;  $V_k$  – об'єм вибуреного керна за одиницю часу.

За даною формулою зроблено розрахунки для свердловини СГ-3, результати яких представлено на графіку (рис. 4) як співвідношення між механічною швидкістю буріння і інтенсивністю виділення енергії зміни форми стовпчиком керна за одиницю часу. Характер зміни інтенсивності виділення потенціальної енергії зміни форми за одиницю часу аналогічний тому, який подано на рис. 2. Таким чином, результати проведених досліджень підтверджують можливість використання явища дискування керна для оцінки часового критерію деформування і руйнування гірських порід.

На підставі приведених критеріїв для умов глибокого буріння виділено дві концепції процесів деформування і руйнування гірських порід. Перша концепція характеризується поступовим зростанням інтенсивності виділення потенціальної енергії і механічним руйнуванням породи, а друга – стрімким зростанням виділеної потенціальної енергії та комбінованим руйнуванням породи. Обидві концепції достовірні, але для різних стадій режимів деформування і руйнування. Причому перехід однієї стадії у другу носить стрімкий характер, особливо в породах з великим запасом енергії. Отже, регулювання виділення енергії в часі дозволяє керувати характером руйнування гірських порід.

1 Ершов Л.В., Либерман Л.К., Нейман И.Б. Механика горных пород. – М.: Недра, 1987. – 192 с.

2 Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. – М.: Недра, 1985. – 272 с.

3 Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 279 с.

4 Зорин А.Н., Халимендик Ю.М., Колесников В.Г. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых. — М.: Недра, 2001. – 413 с.

5 Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. – М.: Изд. ин. литературы, 1954. – 648 с.

6 Коротков П.Ф. О математической модели постепенного разрушения горных пород и превращения их в пористые среды // Докл. АН СССР. – 1980. – 253, №6. – С.1357-1360.

7 Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Сопротивление материалов деформированию и разрушению при сложном напряженном состоянии. – К.: Наукова думка, 1969. – 211 с.

8 К вопросу о факторе времени при разрушении горных пород / Курленя М.В., Опарин В.Н., Рева В.Н., Глушихин Ф.П., Розенбаум М.А. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1993. – №5. – С.3-13.

9 Забигаило В.Е., Белый И.С. Геологические факторы разрушения керна при бурении напряженных горных пород Донбасса. – К.: Наукова думка, 1981. – 180 с.

10 Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины. – М.: Недра, 1984. – 490 с.

11 Барановський Е.М., Мойсишин В.М. Новий підхід до вирішення проблеми стійкості стовбура свердловини // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2005. – № 1(10). – С.72-76.

12 Барановський Е.М., Возний В.Р. Методи і критерії оцінки явища дискування керна // Розвідка і розробка нафтових і газових свердловин. – 2001. – № 38(2). – С.18-24.

13 Барановський Е.М., Мойсишин В.М. Комбіноване руйнування гірських порід при бурінні глибоких свердловин // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2006. – №1(13). – С. 26-30.