

Ковбик К. М., асистент, Калініченко В. О., д.т.н., професор
(Криворізький національний університет), **Кучерук М. О., асистент**
(Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне)

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРУ ДЕФОРМАЦІЇ ТА СУПРОТИВ НА ЗРІЗ ПУХКИХ РУД, НАСИЧЕНИХ ВОДОЮ, ПРИ ЇХ РУЙНУВАННІ СТРУМЕНЯМИ ВОДИ

Для вдосконалення моделі геомеханічних процесів виникла необхідність в отриманні додаткової інформації про параметри пухких руд, деформаційних характеристик (модуль Юнга) і параметрів міцності при навантаженнях, що відповідають умовам залягання руд. Експерименти з циклічності зміни ефективної вертикальної напруги в межах 0,5–2,0 МПа при загальному тиску до 8 МПа показали, що випробувані зразки практично не відновлюють деформацію. При проведенні зсуву зразків вертикальні деформації зростають протягом усього періоду зсуву. Це свідчить про те, що мінеральні зерна руди на поверхні зсуву переущільнюються та стискаються.

Ключові слова: зсув руд; пухка руда; гідровиймання; руйнування струменями води; деформаційні характеристики; гідромеханізація; підземна розробка.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Гідровиймання гірських потребувало експериментальної перевірки можливості застосування в розрахункових схемах принципу ефективних напружень [1], що посідає ключове місце в удосконаленні моделі прогнозу поведінки масиву гірських порід при свердловинному гідровидобутку та механізму впровадження технології на підприємства.

Оскільки шахти Кривого Рогу здійснюють виймання корисних копалин здебільшого поверхово-камерними системами з обваленням руди і вмисних порід. Відсоток їх використання від загальної кількості системи складає приблизно 75%, а питома вартість при вийманні руд слабкої та середньої міцності буде високою [2].

Мартитові руди можна розглядати як двокомпонентні мінеральні системи з гематиту і кремнезему. Між цими компонентами є тіс-

на залежність з коефіцієнтом кореляції 0,93–0,99 [3].

Дисперсногематит-мартитові руди поширені в кількості 20–35% на південних і до 10% на північних шахтах Криворізького басейну. Велика частина руд цього типу представлена пористими (14–24%) низької міцності ($f=2-4$) різновидами.

Дисперсногематитові руди найчастіше приурочені до рудних полів південної групи шахт, де складають 15–25%. На північній групі шахт вони складають не більше 4%. Текстура руд шарувата і грубошарова, пористість до 26–31%.

Тому однією з альтернатив традиційним системам видобутку запасів маломіцних залізних руд, що залягають в складних гідрогеологічних і гірничо-механічних умовах родовищ є свердловинна гідротехнологія. Вона придатна для безлюдного відпрацювання масивів руд як із земної поверхні, так і підземним способом [4–8]. В особливу, раніше невідому, групу слід виділити технологічні схеми камерної та безкамерної розробки з обваленням руди глибокозалягаючих заліззорудних родовищ з обводненим рудним масивом [9; 10–12]. Процес відбійки руди в цій групі є комбінованим – поєднання гідромоніторних струменів і силових гідродинамічних і геомеханічних полів.

Мета статті – експериментально визначити основні параметри та встановити залежності деформацій насиченої водою пухкої руди при їх руйнуванні струменями води.

Викладення матеріалу та результати

Обіг експерименту та його результати наведено у таблиці.

Таблиця

Умови проведення лабораторних експериментів з пухкою рудою та основні результати

Код зразка	Умови експерименту			Результати	
	Тиск рідини, P_0 , МПа	Повна вертикальна напруга, σ , МПа	Ефективна вертикальна напруга, $(\sigma - P_0)$, МПа	Зсувне навантаження при зрізі, τ , МПа	Модуль Юнга, E , МПа
A1	2,0	7,0	5,0	3,0	0,31
A2	4,0	7,0	3,0	1,7	0,19
A3	6,0	7,0	1,0	1,0	0,13
A4	2,0	8,3	6,3	3,4	0,36

продовження таблиці

A5	4,0	8,5	4,5	2,5	0,29
A6	6,0	8,9	2,9	2,0	0,20
A7	2,0	12,8	10,8	5,3	0,40
A8	4,0	12,8	8,8	4,1	0,33
A9	6,0	12,5	6,5	3,0	0,19
A10	2,0	4,4	2,4	2,4	0,21
B1	2,0	7,0	5,0	3,0	0,23
B2	4,0	7,0	3,0	1,6	1,00
B3	6,0	7,5	1,5	1,0	0,24
B4	2,0	10,0	8,0	4,2	0,51
B5	4,0	10,0	6,0	3,1	0,40
B6	6,0	10,0	4,0	1,9	0,55
B7	2,0	13,0	11,0	5,2	0,38
B8	4,0	13,0	9,0	4,3	0,27
B9	6,0	13,0	7,0	2,9	0,25
B10	6,0	13,0	7,0	-	-

При винесенні результатів експериментів у графік в системі координат «Зсувне навантаження зрізи (τ)» – «Ефективна напруга ($\sigma - P_0$)» виявилось, що всі точки розташовуються уздовж однієї загальної прямої (рис. 1, б).

Це переконливо свідчить про можливість використання принципу ефективних напружень при аналізі міцності пухких руд і їх напруженого стану.

Встановлено також, що у всьому діапазоні зміни експериментальних параметрів крива може бути апроксимована прямою лінією виду:

$$\tau = C + \tan \varphi (\sigma - P_0) \text{ МПа,} \quad (1)$$

де C – фізична величина зчеплення (затиснення) пухкої руди;

φ – кут внутрішнього тертя, град.

Слід зазначити, що проведення експериментів при високому тиску дозволяють використовувати отримані значення C (0,5 МПа) тільки як параметр апроксимуючого рівняння, оскільки при малих тисках (до 0,5 МПа) цілком ймовірно відхилення від прямої до нуля. Однак для умов проведення експериментальних робіт початкова ділянка кривої не має великого значення в силу високих значень напруг в умовах залягання пухких руд. Також результати випробувань

для руд, відібраних з різних горизонтів (білі та чорні точки на рис. 2), дозволяють говорити про ідентичність міцності пухких руд на різних горизонтах і в подальшому розглядати результати експериментів зразків серій А і В спільно. Значення φ для всіх випробуваних зразків згідно з рис. 2 становить 24° .

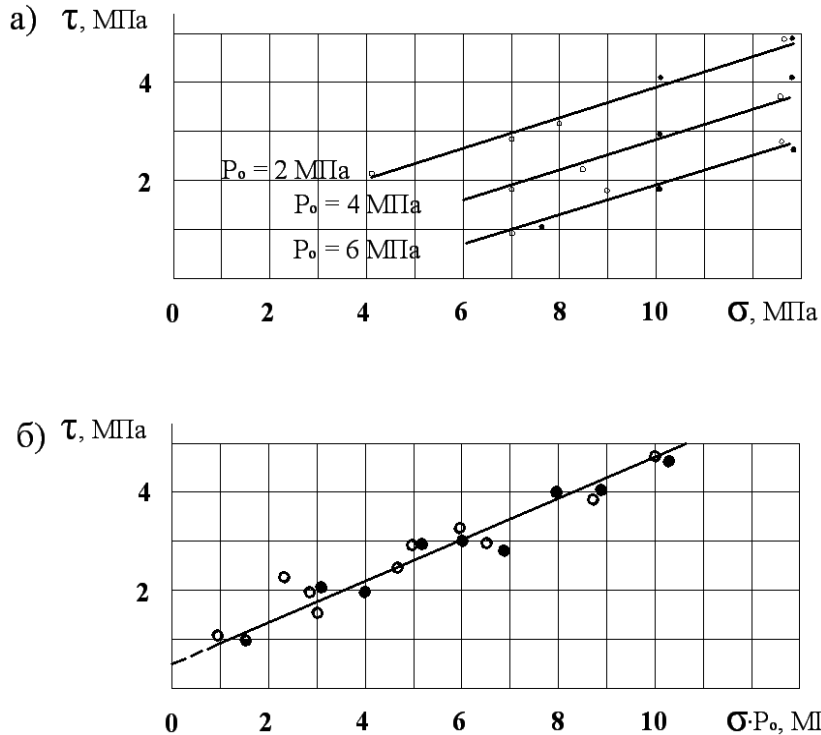


Рис. 1. Результати випробувань зразків пухких руд на прямий зріз з урахуванням тиску води: а – залежність зрізуючих напружень τ від повних вертикальних напружень; б – залежність зрізуючих напружень τ від вертикальних ефективних напружень $(\sigma - P_0)$. Чорні точки відповідають зразками серії В (глибина відбору 490 м), білі – серії А (глибина відбору 578 м)

В цілому результати експериментів показують значний вплив на руйнування пухких руд тиску рідини. Зокрема, нагнітання рідини в масив під надлишковим тиском розвантажує пухкі руди від нормальних напружень, полегшуючи руйнування масиву в результаті дії зсувних напружень на границях відкритих порожнин у масиві.

Іншою важливою характеристикою пухких руд, що грає визначальну роль в прогнозі зсувів масиву, є модуль Юнга, який представляє собою коефіцієнт пропорційності між деформаціями і напруженнями.

Типові криві «напруга – деформація» представлені в графічному вигляді на рис. 2. Всі графіки характеризуються крутою початковою ділянкою (пунктирна лінія на графіку, який відповідає значенню 2 МПа, рівне модулю пружності води [13]) і порівняно пологою рівною ділянкою, що характеризує стисливість пухких руд. Аналіз даних свідчить про наявність деякого зростання модуля пружності пухких руд з підвищенням ефективних напружень, проте з достатньою точністю модуль Юнга може бути прийнятий рівним 0,30 МПа. Отримані дані також показують, що зв'язок між деформаціями і напруженнями для пухких руд є лінійний у всьому діапазоні досліджених параметрів.

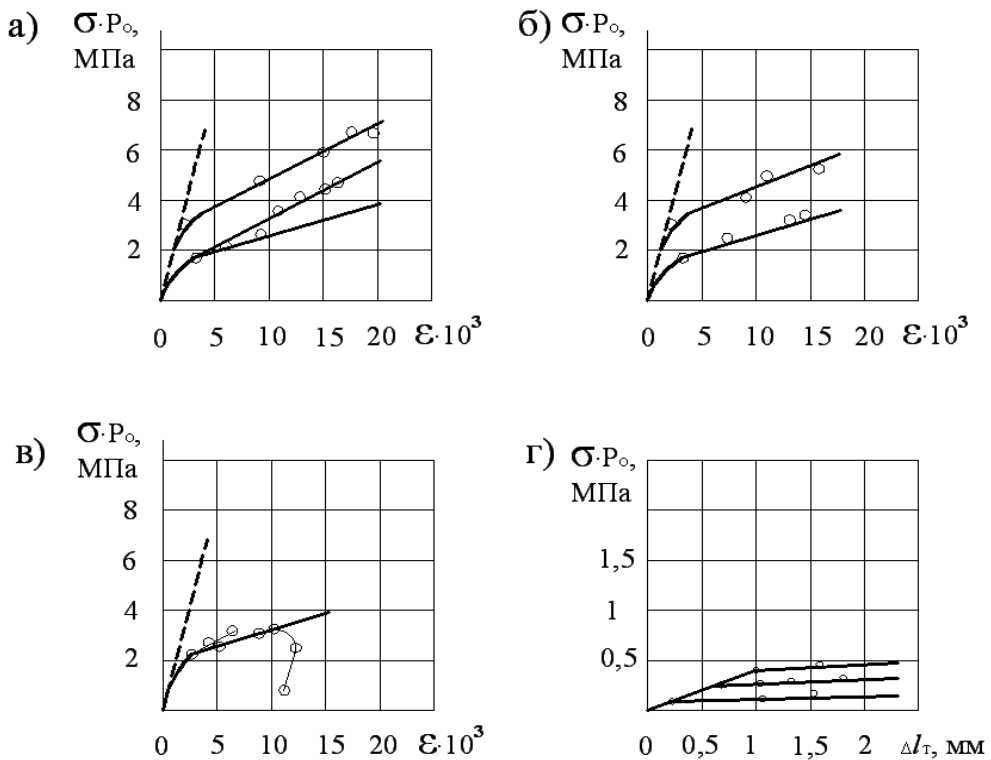


Рис. 2. Характер деформування пухких руд: а, б, в – графіки деформування пухких руд відповідно при $P_0 = 2, 4, 6$ МПа; г – графік залежності вертикальних зсувів від горизонтальних

Висновки та напрямок подальших досліджень. При зменшенні ефективних напружень зразки проявляли досить незначне відновлення деформацій (графік зразка А9), відповідне відновленню пружною деформацією рідини, причому вказане явище зазначалося при зменшенні ефективних напружень як за рахунок зниження загаль-

ного навантаження на зразку, так і за рахунок зростання нейтрального тиску.

Експерименти з циклічності зміни ефективної вертикальної напруги в межах 0,5–2,0 МПа при загальному тиску до 8 МПа показали, що випробувані зразки практично не відновлюють деформації структури, але модуль Юнга незначно збільшується за рахунок більш щільної упаковки зерен. Зміна ця знаходиться в межах розкиду результатів випробувань різних зразків і не може враховуватися.

При проведенні зсуву зразків вертикальні деформації зростали протягом усього періоду зсуву. Типові криві взаємозв'язку вертикальних переміщень і горизонтальних переміщень наведені на рис. 2, г. Це свідчить про те, що мінеральні зерна руди на поверхні зсуву передроблюються та стискаються більш щільно.

Як подальший розвиток планується проводити дослідження з визначення додаткових параметрів, та обґрунтування впровадження на деяких ділянках Криворізького залізорудного басейну технології свердловинного гідро видобування.

1. Шавловский С. С. Основы динамики струи при разрушении горного массива. М. : Недра, 1979. 173 с.
2. Малахов Г. М. Особенности разработки рудных месторождений на больших глубинах и пути повышения эффективности разработки руд Кривбасса. Пути повышения эффективности подземной добычи руды в Криворожском бассейне : сборник. Кривой Рог, КГРИ. 1971. С. 5–41.
3. Глушко В. Т., Борисенко В. Г. Инженерно-геологические особенности железорудных месторождений. М. : Недра, 1978. 253 с.
4. Бабичев Н. И., Николаев А. Н. Скважинная гидротехнология – новый способ освоения недр. Горный журнал. 1995. № 1. С. 14–18.
5. Бабичев Н. И., Николаев А. Н. Скважинная гидротехнология – основа высокоэкономичных малых предприятий по добыче твердых полезных ископаемых. Горный журнал. 1996. № 4. С. 5–9.
6. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых / Аренс В. Ж., Бабичев Н. И., Башкатов А. Д и др. М. : Изд-во «Горная книга», 2007. 295 с.
7. Маланчук З. Р., Боблях С. Р., Маланчук Є. З. Гідровидобуток корисних копалин. Рівне : НУВГП, 2009. 280 с.
8. Технологія і керування гідровидобутком корисних копалин / З. Р. Маланчук, А. Д. Калько, Є. З. Маланчук та ін. Рівне : НУВГП, 2009. 480 с.
9. Гостюхин П. Д., Болотов В. А., Росляков О. А. Технологический комплекс для скважинной гидродобычи глубоководных месторождений богатых железных руд. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. М. : Изд-во МГГУ. № 7. С. 206–209.
10. Колибаба В. Л. СГД богатых железных руд КМА. М. : ВИМС, 1989. 25 с.
11. Британ И. В., Гостюхин П. Д., Аллилуев В. Н., Лейзерович С. Г. Технология скважинной гидродобычи богатых железных руд КМА. Горный журнал.

2004. № 1. С. 62–64. **12.** Журин С. Н., Колесников В. И., Стрельцов В. И. Природопользование при скважинной гидродобыче богатых железных руд. М. : НИА – Природа, 2001. 384 с. **13.** Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. Д. : Східний видавничий дім, 2013. Т. 3: С–Я. 644 с.

REFERENCES:

1. Shavlovskiy S. S. Osnovy dinamiki strui pri razrushenii gornogo massiva. M. : Nedra, 1979. 173 s.
 2. Malahov G. M. Osobennosti razrabotki rudnykh mestorojdeniy na bolshih glubinah i puti povyisheniya effektivnosti razrabotki rud Krivbassa. *Puti povyisheniya effektivnosti podze-mnoy dobyichi rudyi v Krivorozskom bassejne* : sbornik. Krivoy Rog, KGRI. 1971. S. 5–41.
 3. Glushko V. T., Borisenko V. G. Injenerno-geologicheskie osobennosti jelezorudnykh mestorojdeniy. M. : Nedra, 1978. 253 s.
 4. Babichev N. I., Nikolaev A. N. Skvajinnaya gidrotehnologiya – novyyi spo-sob osvoeniya nedr. *Gornyyi jurnal*. 1995. № 1. S. 14–18.
 5. Babichev N. I., Nikolaev A. N. Skvajinnaya gidrotehnologiya – osnova vyisokoeconomichnykh malyykh predpriyatiy po dobyiche tverdykh poleznykh iskopaemykh. *Gornyyi jurnal*. 1996. № 4. S. 5–9.
 6. Skvajinnaya gidrodobyicha poleznykh iskopaemykh / Arens V. J., Babichev N. I., Bashkatov A. D i dr. M. : Izd-vo «Gornaya kniga», 2007. 295 s.
 8. Tekhnolohiia i keruvannia hidrodydobutkom korysnykh kopalyn / Z. R. Malanchuk, A. D. Kalko, Ye. Z. Malanchuk ta in. Rivne : NUVHP, 2009. 480 s.
 9. Gostyuhin P. D., Bolotov V. A., Roslyakov O. A. Tehnologicheskyy kompleks dlya skvajinnoy gidrodobyichi glubokozalegayuschih mestorojdeniy bogatykh jeleznykh rud. *Gornyyi informatsionno-analiticheskyy byulleten*. 2003. M. : Izd-vo MGGU. № 7. S. 206–209.
 10. Kolibaba V. L. SGD bogatykh jeleznykh rud KMA. M. : VIMS, 1989. 25 s.
 11. Britan I. V., Gostyuhin P. D., Alliluev V. N., Leyzerovich S. G. Tehnologiya skvajinnoy gidrodobyichi bogatykh jeleznykh rud KMA. *Gornyyi jurnal*. 2004. № 1. S. 62–64.
 12. Jurin S. N., Kolesnikov V. I., Streltsov V. I. Prirodopolzovanie pri skvajinnoy gidrodobyiche bogatykh jeleznykh rud. M. : NIA – Priroda, 2001. 384 s.
 13. Mala hirnycha entsyklopediia : u 3 t. / za red. V. S. Biletskoho. D. : Skhidnyi vydavnychiy dim, 2013. T. 3: S–la. 644 s.
-

Kovbyk K. M., Assistant, Kalinichenko V. O., Doctor of Engineering, Professor (Kryvyi Rih National University), Kucheruk M. O., Assistant (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

DETERMINATION OF THE CHARACTER OF DEFORMATIONS AND RESISTANCE ON SECTIONS OF SATURATED WITH WATER LOOSE ORES BY WATER JETS DESTRUCTION

To improve the model of geomechanical processes, it became necessary to obtain additional information about the parameters of loose ores, deformation characteristics (Young's modulus) and strength parameters under loads corresponding to the conditions of ore occurrence. Since most of the underground enterprises of Kryvyi Rih work with classical systems that are not adapted to the extraction of minerals in conditions of flooding of deposits and low stability of ores, studying the technology of destroying an array with water jets will make it possible to invent ways to introduce this technology into the production process.

The purpose of the article is to determine the main deformation indicators during the destruction of loose ores by water jets. Determine the dependence of the change in various deformation characteristics when cutting ores with water jets under pressure. The obtained results are mathematically processed and dependencies are derived on the basis of the performed analysis, to propose further implementation of hydraulic extraction technology.

In the process of conducting a physical experiment on the hydraulic destruction of the massif, according to the cyclical change in the effective vertical pressure in loose ores in the range of 0.5–2.0 MPa at a total pressure of up to 8 MPa. Experiments have shown that the tested samples practically do not restore the deformation. When shearing the samples, the vertical deformations increased during the entire period of shearing. This indicates that the mineral grains of the ore on the surface of the landslide are overcompacted and compressed. Experience data allow us to consider the ways of introducing the technology of hydraulic destruction of loose ores, at various technological processes in the underground forgery of mineral deposits, both as a separate process and as an auxiliary process in the development of deposits, which makes it possible to

increase the safety of mining operations through the use of a non-explosive method of rock destruction.

A result of work dependences of shearing stress on total vertical stresses were calculated and established. On the basis of the established dependences, graphs of the deformation of loose ores from the pressure of the liquid were compiled, which make it possible to trace the process of destruction of ores when they are cut by water jets.

***Keywords:* ore shearing; loose ores; hydraulic mining; destruction by water jets; deformation characteristics; hydromechanization; underground development.**
