

М.А. Колодій, ст. викладач

Г.В. Скиба, к.т.н., доц.

О.М. Толкач, к.т.н., доц.

С.І. Башинський, к.т.н.

Н.М. Остафійчук, ст. викладач

Державний університет «Житомирська політехніка»

Випробування зразків крихких гірських порід при тривісному стиску у полі відцентрових сил

Запропоновано спосіб вирішення складної технічної задачі з моделювання об'ємного напруженого стану для зразків крихких матеріалів, зокрема твердих гірських порід, з метою визначення границі міцності при всебічному стиску. Розглянуто основні труднощі, пов'язані з реалізацією умов всебічного стиску в лабораторних умовах, і недоліки існуючих пристроїв та апаратів, що використовуються для об'ємного навантаження зразків гірських порід. У статті приведено обґрунтування і необхідність використання пристрою для випробування зразків крихких гірських порід при тривісному стиску. Пристрій належить до випробувальної техніки і рекомендований для експериментальних досліджень гірських порід на міцність. Наведено опис пристрою для досліджень зразків крихких гірських порід на всебічний стиск та принцип його роботи. Особливістю запропонованого пристрою є використання рідини з високою щільністю та формування силового поля навантажень за рахунок відцентрових сил, що виникають при обертанні дослідної камери навколо деякої вертикальної осі. Регулювання величини навантаження здійснюється шляхом зміни частоти обертального руху.

Ключові слова: тривісний стиск; всебічний рівномірний стиск; гірська порода; паспорт міцності.

Постановка проблеми. Гірські породи в масиві, в умовах природного залягання, перебувають в об'ємному напруженому стані. Тому для більш повного вивчення механічних властивостей гірських порід дослідження проводять на спеціальних лабораторних установках. В умовах всебічного стиску в гірських породах, як і в інших твердих тілах, проявляється ефект зміни пружних, пластичних та міцнісних властивостей. У межах кількох відсотків зростають модуль поздовжньої пружності E та модуль зсуву G . Також частково збільшується коефіцієнт поперечних деформацій μ , а також значно зростають показники пластичних властивостей гірських порід. Міцнісні характеристики змінюються суттєво, і варто зазначити, що відносне збільшення показників межі міцності на стиск та на зріз є більшим для порід середньої та низької міцності. Провівши досліди кількох зразків гірської породи при різних значеннях бічного тиску до руйнування, експериментальним шляхом отримують відповідну кількість кіл Мора в умовах всебічного стиску, що дозволяє з максимальною точністю будувати паспорт міцності гірської породи [1].

Експериментальні дані багатьох досліджень при близьких програмах навантажень інколи мають суттєві розбіжності внаслідок використання різних методів при проведенні випробувань зразків. Основними факторами, які впливають на розбіжність результатів досліджень, є:

- форма та розміри досліджуваних зразків;
- спосіб передачі навантажень на зразок;
- спосіб вимірювання деформацій у зразках;
- спосіб зменшення тертя на межах контактів зразків з навантажувальним пристроєм;
- методика проведення тривісного навантаження.

Тому постає проблема створення пристрою для випробування крихких гірських порід при тривісному стиску, який би дозволив спростити випробування та збільшив би точність отриманих результатів.

Аналіз досліджень та публікацій. Досліджувати гірські породи та інші матеріали при тривісному стисканні досить складно. Для цього потрібно створювати спеціальні пристрої.

Відомий пристрій, до складу якого входить камера високого тиску, поршень, механізм передачі навантажень на бічні грані зразка в формі клиновидних елементів, установлений в порожнині камери, та механічний і гідравлічний незалежні приводи [2].

Недолік цього пристрою – складність синхронізації навантажень на бічні та торцеві грані зразка і неможливість зміни співвідношень цих навантажень.

Найбільш близьким по сукупності суттєвих ознак є пристрій для випробування гірських порід при тривісному стиску, який включає силову плиту, корпус для розташування досліджуваного зразка і змонтовані в ньому механізми для навантаження бокових граней зразка, кожен із котрих має пару клиновидних елементів, установлених із можливістю їх переміщення одного по похилій площині іншого. При цьому співвідношення зусиль на торцеву та бічну поверхні визначається кутом нахилу площини клиновидного елемента [3].

Суттєвий недолік цього пристрою полягає в тому, що для зміни співвідношення зусиль кожен раз необхідно виготовляти нову пару клиновидних елементів, що вимагає додаткових затрат і зменшує продуктивність.

Таким чином, метою даного досліджень є розроблення пристрою, який забезпечує проведення дослідів зразків гірських порід на рівномірний всебічний стиск у широкому діапазоні навантажень та забезпечує високий ступінь повторюваності досліджень.

Викладення основного матеріалу. При тривісному стисканні міцність зразків гірських порід є значно більшою, ніж міцність зразків при одновісному стиску. Найбільш простим тривісним випробуванням є всебічний рівнокомпонентний стиск зразків. Особливістю такого руйнування є тісний зв'язок із дією статичного навантаження рідини. При такому стисканні зразок гірської породи руйнується на окремі дрібні шматки, величина яких залежить від критичного значення тиску [4]. Чим більші напруження стиску, тим менші розміри уламків. Бічні напруження здійснюються за допомогою рідини, що стискає зразок. Саме ці міркування покладені в основу при розробці пристрою.

Як рідину запропоновано використовувати ртуть – хімічно малоактивну речовину з діаманетичними властивостями. Особливістю цієї речовини є те, що вона має велику питому вагу $\rho = 13,546 \text{ г/см}^3$ при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Тому, не дивлячись на токсичність ртуті, переваги її використання в цьому пристрої є значно більшими.

На рисунку 1 представлено конструктивну схему запропонованого пристрою для випробування зразків крихких гірських порід при тривісному стиску в масиві стиснутої рідини. Основою конструкції пристрою є двоконсольна балка 1 (рис. 1), що вмонтована в циліндричний товстостінний корпус 2 і закріплена в ньому від осевого зміщення гайкою 3. Підвішування двоконсольної балки до привідного вала 8 для забезпечення обертового руху виконується за допомогою шарнірів із пальцями верхнього 7 і нижнього 5, з'єднуючого шарніри вала 6 і нижньої частини вала 4.

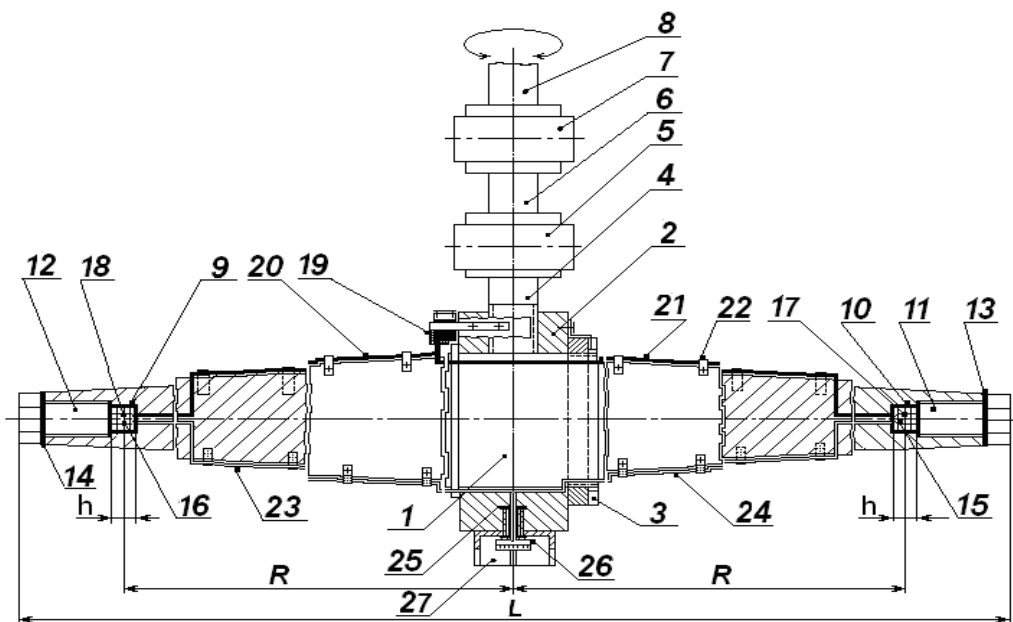


Рис. 1. Креслення пристрою для випробування зразків крихких гірських порід при тривісному стиску в масиві стиснутої рідини

В кінцевих частинах балки виконані порожнини 9 і 10 – робочі камери, в які вкладаються зразки досліджуваних гірських порід 17 і 18 для навантаження. Їх положення фіксують гвинтами-пробками 11 і 12.

Робочі камери можуть мати різні форми і розміри. При зразках менших розмірів вільний простір заповнюють баластними матеріалами. Робочі камери закриваються гвинтами-пробками 11 і 12, наповнюються ртуттю, що надходить з ємності 19 по спеціальним каналам 20 та 21, які кріпляться скобами 22 до двоконсольної балки 1. Для запобігання витоків ртуті з робочої камери вказані гвинти-пробки ущільнюються прокладками 13 і 14.

На поверхні зразків перед їх розміщенням у робочих камерах 9 і 10 відповідно до очікуваного руйнівного навантаження наноситься сітка 15 і 16 тонких дротинок – датчиків цілісності зразків. До них припаюють провідники-подовжувачі 23 і 24, кінці яких через радіальний канал в тілі корпусу 2 виведені на клемну панель 26, розташовану в порожнині повідка 27 для головки автономного струмознімача, 25 – прокладка.

Навантаження зразків при тривісному стиску аж до руйнування забезпечується тиском p в рідинному середовищі у робочих камерах 9 і 10, що створюється в полі відцентрових сил при обертанні ротора разом з рідинним середовищем із відповідною кутовою швидкістю ω .

Під час обертання пристрою рідина, внаслідок дії на неї відцентрової сили, заповнить простір у робочих камерах і рухатиметься по колу з радіусом r . При збільшенні значення радіуса тиск рідини на зразок буде теж збільшуватися.

Градiєнт тиску вздовж радіуса запишемо у вигляді:

$$\frac{dp}{dr} = \frac{\rho v^2}{r} \quad (1)$$

Виразимо лінійну швидкість через кутову в рівнянні (1):

$$\frac{dp}{dr} = \rho \omega^2 r \quad (2)$$

Проінтегруємо рівняння (2) по r :

$$\int_{p_0}^{p_1} \frac{dp}{dr} = \rho \omega^2 \int_0^{r_1} r dr \quad (3)$$

Або для відносного тиску рідини у робочій камері:

$$p = \frac{\rho \omega^2 r^2}{2} \quad (4)$$

В основу роботи пристрою для випробування зразків крихких гірських порід при тривісному стиску покладена залежність (4), в якій тиск рідини, що обертається p , залежить від її густини ρ , радіуса r , що визначає положення розглядуваної точки чи перерізу в масиві, та кутової швидкості обертання масиву ω . Рівняння (4) свідчить про пряму залежність стійкості зразків породи від густини рідини середовища, де відбувається руйнування [5].

Розрахунок необхідної частоти обертання для досягнення заданого значення напружень виконується за виразом, що знаходиться з рівняння (4):

$$\omega = \sqrt{\frac{2p}{\rho r^2}} \quad (5)$$

При використанні ртуті як робочої рідини (щільність 13,6 г/см³) та радіуса обертання 1 м, для досягнення напружень порядку 300 МПа необхідне значення частоти обертання установки дорівнюватиме 12 600 об./хв.

Висновок. Запропонована конструкція дослідного пристрою дозволяє проводити експериментальне вивчення поведінки гірських порід при всебічному стиску. Регулювання навантаження здійснюється плавно, шляхом зміни частоти обертання двоконсольної балки. Це забезпечує високий ступінь повторюваності досліджень. При руйнуванні зразків сам стенд та окремі його частини залишаються неушкодженими. Також варто зазначити, що запропонований пристрій дозволяє проводити відцентрове моделювання, суть якого полягає у тому, що для вивчення масиву гірських порід певної форми використовується відповідна геометрична модель. Для забезпечення відповідності напружень у масиві та в моделі варто збільшити об'ємну вагу матеріалу моделі у відповідну кількість разів. Наприклад, якщо модель виконана у геометричному масштабі 1:100, то об'ємна вага її матеріалу має бути у 100 разів більша за об'ємну вагу модельованої породи. А це легко досягнути, використавши ту саму гірську породу у запропонованому пристрої [6].

Збереження елементів конструкції пристрою суттєво збільшує продуктивність та призводить до зменшення металоемності, і як результат – зниження вартості дослідницьких робіт при випробуванні крихких гірських порід. На основі запропонованих рішень отримано патент України на корисну модель № 99118 від 25.05.2015, Бюл. № 10 [7].

Список використаної літератури:

1. Турчанинов И.А. Основы механики горных пород / И.А. Турчанинов, М.А. Иофис, Э.В. Каспарьян. – Л. : «Недра», 1989. – 488 с.
2. А. с. 563594 СССР, М.Кл² G 01N 3/08. Устройство для испытания образцов горных пород на трехосное сжатие / Т.И. Исагулов, В.Н. Розков, Н.А. Сергеев. – № 563594 ; заявл. від. 30.03.77, Бюл. №24.
3. Берг О.Я. Исследование напряженного и деформированного состояния бетона при трехосном сжатии / О.Я. Берг, Г.Г. Соломенцев // Труды Всесоюзного НИИ транспорта, строительства. – М. – 1969. – №. 70. – С. 106–123.
4. Van E. Concrete behavior in multiaxial compression, experimental research / E. Van. – Eindhoven. – 1998. – 178 p.
5. Алексеев А.Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений / А.Д. Алексеев, В.Н. Ревва, Н.Л. Рязанцев. – Киев : Наукова думка, 1989. – 168 с.
6. Покровский Г.И. Центробежное моделирование (новый метод исследования устойчивости и прочности сооружений) / Г.И. Покровский. – М. : ОНТИ, 1935. – 54 с.
7. Пат. України на корисну модель. Пристрій для випробування зразків крихких гірських порід при тривісному стиску. – № 99118 ; від 25.05.2015, Бюл. № 10.

References:

1. Turchaninov, I.A., Iofis, M.A. and Kaspar'jan, Je.V. (1989), *Osnovy mehaniki gornyh porod*, «Nedra», L., 488 p.
2. Isagulov, T.I., Rozkov, V.N. and Sergeev, N.A (1977), *Ustrojstvo dlja ispytaniya obrazcov gornyh porod na trehosnoe szhatie*, A. s. № 563594.
3. Berg, O.Ja. and Solomencev, G.G. (1969), «Issledovanie naprjazhennogo i deformirovannogo sostojanija betona pri trehosnom szhatii», *Trudy Vsesojuznogo NII transporta, stroitel'stva*, No. 70, M., pp. 106–123.
4. Van, E. (1998), *Concrete behavior in multiaxial compression, experimental research*, Eindhoven, 178 p.
5. Alekseev, A.D., Revva, V.N. and Rjazancev, N.L. (1989), *Razrushenie gornyh porod v obemnom pole szhimajushhij naprjazhenij*, Naukova dumka, Kiev, 168 p.
6. Pokrovskij, G.I. (1935), *Centrobezhnoe modelirovanie (novyj metod issledovanija ustojchivosti i prochnosti sooruzhenij)*, ONTI, M., 54 p.
7. Pat. Ukraїni na korisnu model' (2015), *Pristrij dlja viprobuvannja zrazkiv krihkih girs'kih porid pri trivisnomu stisku*, Ukraїna, № 99118.

Колодій Марина Анатоліївна – старший викладач кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т. Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- дослідження міцності деталей машин;
- крихких гірських порід та інших крихких матеріалів.

Скиба Галина Віталіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- моніторинг якості об'єктів навколишнього середовища;
- властивості матеріалів.

Толкач Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т., Житомирський державний технологічний університет.

Наукові інтереси:

- видобування та переробка будівельних гірських порід;
- моделювання родовищ.

Башинський Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т. Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- технологія алмазно-канатного розпилювання природного каменю;
- моделювання процесів гірничого виробництва.

Остафійчук Неля Миколаївна – старший викладач кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т. Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- геологія алмазів, пошук та розвідка родовищ камерних пегматитів

Стаття надійшла до редакції 20.03.2019.