Гірничі та піднімально-транспортні машини

УДК 539.375:622.35 (075.80)

О.І. Фоменко, аспірант
(Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»)

РОЗРОБКА ГІДРОАГРЕГАТУ ДЛЯ ВИДОБУТКУ ГРАНІТНИХ БЛОКІВ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В ШПУРАХ

АНОТАЦІЯ. У статті наведено аналіз особливості видобутку гранітних блоків за допомогою гідравлічного агрегату, що діє високим статичним тиском безпосередньо на стінки шпурів.
Ключові слова: тріщиноутворення, гранітний блок, теорія пружності, шпур.

АННОТАЦИЯ. В статье проведен анализ особенности добычи гранитных блоков с помощью гидравлического агрегата, действующего высоким статическим давлением непосредственно на стенки шпуров.
Ключевые слова: трещинообразование, гранитный блок, теория упругости, шпур.

SUMMARY. In article features of extraction of granite blocks by means of the hydraulic unit operating with high static pressure are analyzed is direct on bore-holes walls.
Keywords: formation of cracks, the granite block, the elasticity theory, bore-hole.

Вступ

Україна це одна з небагатьох країн світу, де розташовані багаті та унікальні родовища природного каменю – граніту, який широко застосовується в різних галузях будівництва та архітектури. Для видобутку гранітних блоків використовують широкий спектр різноманітних технологій. Від ефективності цих технологій залежать основні економічні показники виробництва.

Удосконалення вже відомих і розробка нових ефективних методів та засобів видобутку гранітних блоків повинні забезпечити підвищення ефективності цієї важливої для країни галузі.

Аналіз проблеми

Значне місце в технології видобутку гранітних блоків займає гідравлічне обладнання. В наш час широко застосовуються імпортні гідроклини та гідророзколюючі пристрої, що отримали назву гідророксплітери (далі HRS). Таке обладнання є складовою точного машинобудування але має високу ціну, яка суттєво впливає на собівартість продукції.

Водночас на Україні не виробляється аналогічне гідравлічне обладнання для видобутку гранітних блоків. Тому важливим науковим та практичним завданням є створення вітчизняного гідравлічного обладнання, яке буде мати ефективність одного рівня з гідроклинами та HRS, але за значно нижчих цін.

Для аналізу останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми та на які спирається автор, слід, в першу чергу, звернути увагу на джерела [1, 2, 4].

В [1, 2] проаналізована технологія видобутку гранітних блоків з використанням гідроклинів та HRS, а також наведені аналітичні та емпіричні залежності для розрахунку відстані між шпурами.В той же час немає залежностей, які дозволяють розрахувати важливий технологічний параметр, а саме – тиск або зусилля тріщиноутворення в шпурах.

В [4] розглянуті, перш за все, тільки конструктивні особливості розробленого в НТУУ «КПІ» дослідного гідроагрегату для видобутку гранітних блоків. Такий гідроагрегат дозволяє безпосередньо впливати на стінку шпуру, пробуреного в граніті рідиною з високим статичним тиском.

Основним позитивним моментом запропонованої схеми гідроагрегату є можливість повністю використовувати площу перетину шпуру для отримання високих роз-

ривних зусиль до того ж за простою конструкцію.

Попередні випробування цих гідроагрегатів довели, що вони розвивають розривні зусилля в шпурах на одному рівні з сучасними імпортними гідроклинами та HRS-обладнанням.

Невирішеними раніше частинами проблеми широкого застосування розроблених гідроагрегатів є наступні:

1. Отримання аналітичної залежності для розрахунку достатнього для тріщиноутворення тиску в шпурах.
2. Експериментального підтвердження достовірності отриманої залежності.

Мета та завдання дослідження

Таким чином, метою даної роботи є вирішення таких питань:

1) Запропонування аналітичної залежності для розрахунку тиску тріщиноутворення в шпурах на базі вирішення плоскої задачі теорії пружності.
2) Наведення експериментальних досліджень по вивченню процесу тріщиноутворення в шпурах та порівняння їх з результатами аналітичних досліджень.

Виклад основного матеріалу

В статті наведено аналіз особливостей видобутку гранітних блоків за допомогою обладнання з гідравлічним приводом.

На базі вирішення плоскої задачі теорії пружності розроблена аналітична залежність для розрахунку тиску робочої рідини, необхідного для тріщиноутворення в шпурах.

Надані матеріали лабораторних та промислових досліджень розколу блоків за допомогою гідроагрегату розробленого в Національному технічному університеті України «Київській політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ»).

Наведені висновки за результатами проведених досліджень та надана перспектива подальших експериментів.

Для вибору раціональних шляхів використання розробленого гідроагрегату, забезпечення високої ефективності праці та її безпеки при видобуванні гранітних блоків, необхідно дослідити напружено-деформований стан (НДС) масиву.

Як правило, шпури, що визначають лінію відколу, бурять перпендикулярно до площини масиву з якого відокремлюють блоки. Цей факт дає можливість для визначення НДС використати основні рівняння плоскої задачі теорії пружності, оскільки в шпурах, в яких діє розроблений пристрій, практично реалізуються умови плоскої деформації. Водночас для визначення НДС масиву в довільній точці необхідно знати три компоненти тензора напружень – σ_x, σ_y, τ_{xy} і дві складові вектора переміщень u, v. Коли система декартових координат вибрана таким чином, що площина xy співпадає з поперечним перерізом шпуру, то вказані компоненти є функціями двох змінних x і y.

Якщо ввести функцію напружень $E_{pi}U(x,y)$ до формул

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}; \quad \tau_{xy} = \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y},$$

то розв'язок плоскої задачі теорії пружності у випадку відсутності об'ємних сил зводиться до інтегрування бігармонійного рівняння

$$\frac{\partial^4 U}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^2 U}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^4} = 0 \qquad (1)$$

при визначених граничних умовах [3].

При бурінні шпурів, по лінії відколу блока важко створити шпури ідеально кругової циліндричної форми, тому розглядається більш загальна задача, коли поперечний перетин шпуру є еліпс (рис.1), ексцентриситет якого досить незначний.

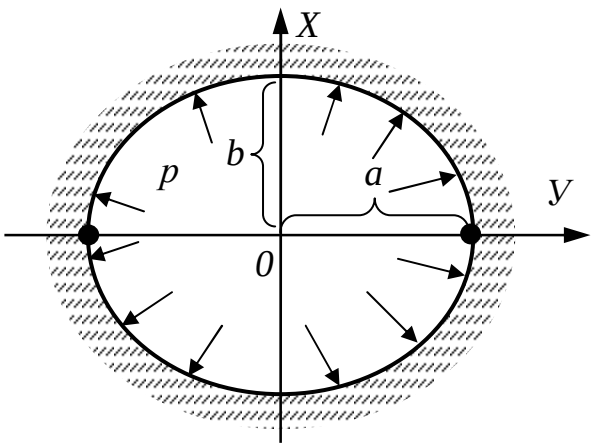

Рис. 1. Схема навантаження шпуру
a,b – радіуси еліпса; p – тиск

Якщо гранітний масив вважати ортотропним матеріалом, то для цього випадку рівняння (1) набуває вигляду

$$a_{22}\frac{\partial^4 U}{\partial x^4}+(2a_{12}+a_{66})\frac{\partial^2 U}{\partial x^2\partial y^2}+a_{11}\frac{\partial^2 U}{\partial y^4}=0, \quad (2)$$

де величини a_{11}, a_{12}, a_{22}, a_{66} – визначають характер ортотропії масиву.

Загальний інтеграл рівняння (2) залежить від коренів S_1 та S_2 характеристичного рівняння

$$a_{11}S^4+(2a_{12}+a_{66})S^2+a_{22}=0 \quad (3)$$

Припустимо, що вісь X (рис. 1) спрямована по лінії відколу, а за рахунок дії спроектованого гідроагрегату в точках (-a, 0) і (a, 0) зароджуються тріщини нормального відриву.

Тріщини нормального відриву утворюються за рахунок дії розтягуючого напруження σ_y.

Коли гідроагрегат створює в круговому (a=b) шпурі тиск p, величина напруження σ_y буде визначатися за допомогою наступної залежності:

$$\sigma_y = p\,\mathrm{Re}\left[\frac{S_1^2-S_2^2}{(S_1+S_2)^2+(1-S_1S_2)^2}\right]. \quad (4)$$

Тріщиноутворення відбудеться при виконанні умови:

$$\sigma_y \geq [\sigma_p], \quad (5)$$

де $[\sigma_p]$ - границя міцності каменю при розтягуванні.

Із залежностей (4) і (5) можна розрахувати потрібний в шпурі тиск p, який буде гарантувати тріщиноутворення в породі.

Для підтвердження достовірності розробленої методики розрахунків тиску p, необхідного для тріщиноутворення, передбачалось проведення лабораторних та промислових експериментів.

Лабораторні експерименти базувалися на розколі безкорпусними гідроагрегатами бетонних моделей, виготовлених на базі цементу марки 500. Промислові експерименти по розколу гранітних блоків (габродрібнозернистий) були проведені на кар'єрі «Антік» Коростишівського району Житомирської області (рис. 3-6).

Для чіткої фіксації тиску тріщиноутворення в шпурах під час проведення експериментів, була запропонована та використана гідросхема наведена на рис. 2.

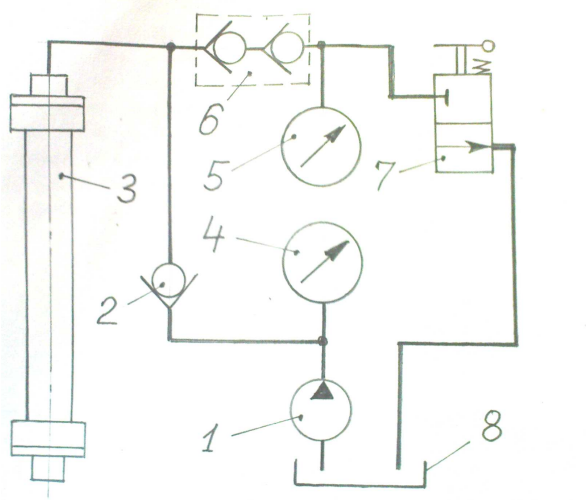

Рис. 2. Гідросхема для заміру тиску тріщиноутворення в шпурах:
1 – насос; *2* – зворотній клапан; *3* – гідроагрегат; *4, 5* – манометри; *6* – подвійний зворотній клапан; *7* – гідророзподільник; *8* – бак

Для розколу монолітного об'єкта (бетонної моделі при лабораторних експериментах або гранітного блока при промислових експериментах), насос 1 подає робочу рідину через зворотній клапан 2 до гідроагрегату 3, який знаходиться в шпурі. Схема включає в себе манометри 4 та 5. Манометр 5 підключений через подвійний зворотній клапан 6 до гідроагрегату 3, а через гідророзподільник 7 до баку 8.

При підвищенні тиску в шпурі, манометри 4 та 5 показують цей тиск. Тиск тріщиноутворення в шпурі буде дорівнювати максимальному тиску в гідросистемі, оскільки після зародження тріщин – робоча рідина під тиском заходить в тріщини і тиск різко падає.

При цьому манометр 4 буде показувати падіння тиску в шпурі, а манометр 5 буде продовжувати показувати тиск тріщиноутворення, оскільки його порожнина буде замкнена подвійним зворотнім клапаном 6 та гідророзподільником 7.

Робочі поверхні подвійного зворотного клапана 6 та гідророзподільника 7 були ретельно притерті алмазною пастою та перевірені на відсутність витоку рідини під тиском. Це гарантувало точну фіксацію тиску тріщиноутворення в шпурах.

Рис. 3. Розкол циліндричної бетонної моделі безкорпусним гідроагрегатом

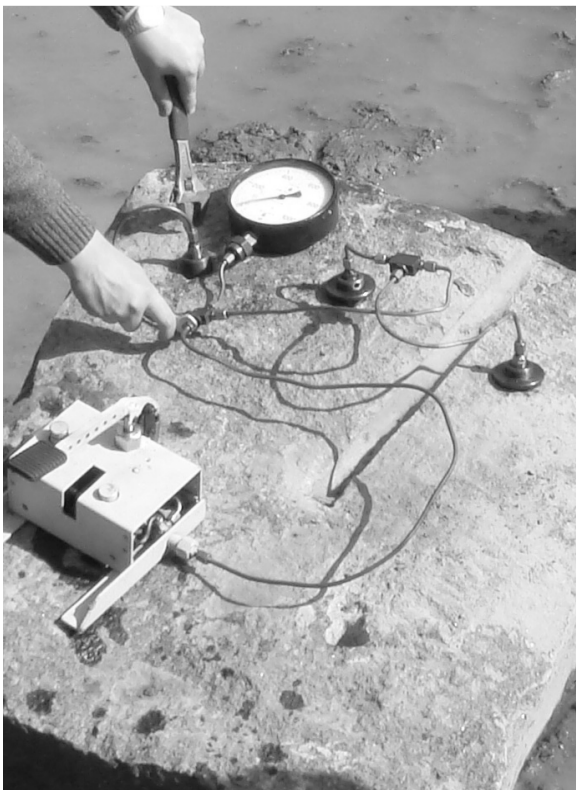

Рис. 5. Монтаж безкорпусних гідроагрегатів в гранітному блоці

Рис. 4. Розкол бетонної моделі-блока двома безкорпусними гідроагрегатами

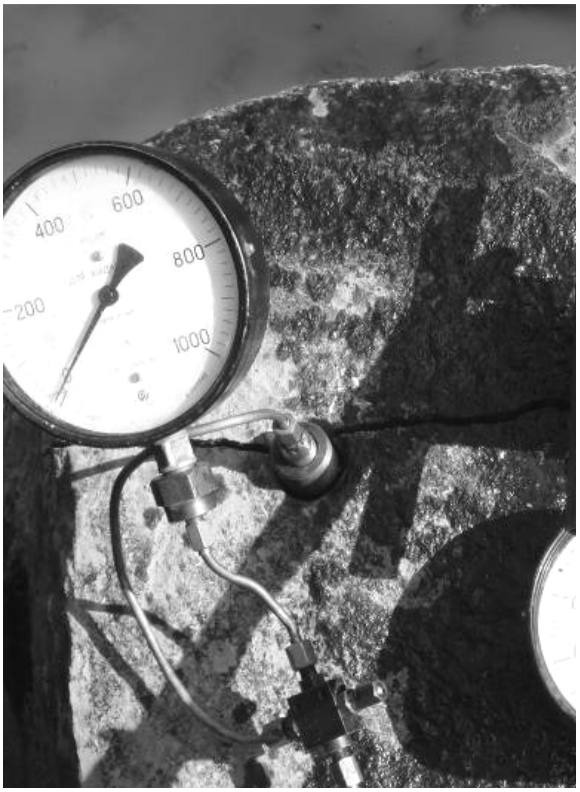

Рис. 6. Тріщиноутворення в гранітному блоці за рахунок дії безкорпусних гідроагрегатів

Аналітичні дослідження визначення тиску тріщиноутворення в шпурі виконані на базі вирішення плоскої задачі теорії пружності. Результати замірів тиску тріщиноутворення під час лабораторних та промислових експериментів відрізнялись на 8-12%, що задовольняє поставленим вимогам і дозволяє використовувати отриману методику розрахунку тиску тріщиноутворення при проектуванні обладнання.

Висновки

Результати проведеного дослідження дають змогу сформулювати наступні висновки:

1. Запропоновані гідроагрегати для видобутку гранітних блоків розвивають розривні зусилля на рівні сучасних імпортних гідроклинів та HRS-обладнання й одночасно відрізняються від них значно простішою та дешевою конструкцією, що гарантує їм суттєві експлуатаційні переваги.

2. Отримана в результаті досліджень аналітична залежність дає змогу розраховувати тиск, який забезпечить тріщиноутворення в шпурах.

Перспектива подальших досліджень у даному напрямку полягає у вивченні впливу концентраторів напружень, виконаних в шпурах на тріщиноутворення.

Література

1. *Карасёв Ю.Г.* Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. Учебное пособие. / Ю.Карасёв, Н. Бакка. – СПб.: Санкт-Петербургский горный институт., 1997. – 428с.
2. *Карасёв Ю.Г.* Технология горных работ на карьерах облицовочного камня / Карасёв Ю.Г. – М.: Недра, 1995.
3. *Мусхелишвили Н.И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости / Мусхелишвили Н.И. М.-Л.: Издательство АН СССР, 1957. – 630с.
4. *Фоменко О.І.* Патент України на корисну модель №39144. Пристрій для руйнування монолітних об’єктів гідро розривом / Фоменко О.І., опубл. 10.02.2009, Бюл. №3.

Рецензент: С.С. Козлов, к.т.н., доцент (НТУУ «КПІ»)

Отримано: 05.06.2009 р.