

**ОСЛАБЛЕННЯ МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД
МАГНІТНО-ГІДРОКАВІТАЦІЙНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ**

О. М. Терентьев, І. М. Стрельцова

Національний технічний університет України «КПІ»
вул. Борщагівська, 115, кімн. 104, м. Київ, 03056, Україна.
E-mail: Oltr_1@ukr.net

М. І. Закієв

Кіровоградська льотна академія національного авіаційного університету
вул. Добровольського, 1, м. Кіровоград, 25005, Україна.
E-mail: zakiev@ukr.net

У статті наведено результати досліджень зміни модуля пружності гірських порід під дією магнітно-гідрокавітаційного навантаження на прикладі граніту. Для визначення модуля пружності використано пристрій «Мікрон Гамма», в основу роботи якого покладено метод Олівера-Фара. Визначено, що при обробці тільки кавітаційним навантаженням граніту модуль пружності знижується на 3,9 % зі 105,91 до 101,82 ГПа. При комбінованому магнітно-гідрокавітаційному навантаженні – зменшується на 7,1 % зі 105,91 до 98,39 ГПа. Зростання впливу магнітно-гідрокавітаційного навантаження на модуль пружності (у порівнянні з кавітаційним навантаженням) пояснюється збільшенням кількості кисню (ядер кавітації) у промивній рідині під дією електромагнітного поля на (6...20) %. Внаслідок цього, інтенсифікується кавітаційний процес, що викликає появу дефектів і, як результат, зниження модуля пружності. Також представлено схему стенду експериментальних досліджень.

Ключові слова: модуль пружності, гірська порода, кавітація.

**ОСЛАБЛЕНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД
МАГНИТНО-ГИДРОКАВИТАЦИОННОЙ НАГРУЗКОЙ**

О. М. Терентьев, И. Н. Стрельцова

Национальный технический университет Украины «КПИ»
ул. Борщаговская, 115, комн. 104, г. Киев, 03056, Украина.
E-mail: Oltr_1@ukr.net

М. И. Закиев

Кировоградская летная академия национального авиационного университета
ул. Добровольского, 1, г. Кировоград, 25005, Украина.
E-mail: zakiev@ukr.net

В статье приведены результаты исследований изменения модуля упругости горных пород под действием магнитно-гидрокавитационной нагрузки на примере гранита. Для определения модуля упругости использовано устройство «Микрон Гамма», в основе работы которого лежит метод Оливера-Фарра. Определено, что при обработке только кавитационной нагрузкой гранита, модуль упругости снижается на 3,9 % с 105,91 до 101,82 ГПа. При комбинирован-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

ной магнитно-гидрокавитационной нагрузке - уменьшается на 7,1 % с 105,91 до 98,39 ГПа. Рост влияния магнитно-гидрокавитационной нагрузка на модуль упругости (по сравнению с кавитационной нагрузкой) объясняется увеличением количества кислорода (ядер кавитации) в промывной жидкости под действием электромагнитного поля на (6...20) %. Вследствие этого, интенсифицируется кавитационный процесс, вызывающий появление дефектов и, как результат, - снижение модуля упругости. Также представлена схема стенда экспериментальных исследований.

Ключевые слова: модуль упругости, горная порода, кавитация.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Руйнуванням гірських порід, удосконаленням старих і розробкою нових способів займалися: В. І. Бондаренко, В. І. Брилін, В. Л. Бритаєв, Ю. В. Горюнов, С. М. Журков, А. Ф. Кічигин, Ф. І. Кучерявий, В. З. Партон, О. О. Скочинський, О. М. Терпигорьєв, Л. Д. Шевяков, Є. І. Шемякін та інші [1–3]. Проте, до цього часу у вітчизняній гірничій промисловості використовують способи руйнування, що мають високу енергоємність в декілька тисяч МДж/м³ [3]. То ж, до сьогодні задача розробки енергозберігаючих способів руйнування гірських порід залишається актуальною. Це також підтверджено постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 р. № 243 [4]. У даній статті запропоновано використання додаткового магнітно-гідрокавітаційного навантаження (МГКН) при руйнуванні гірських порід.

Метою є ослаблення масиву гірських порід за рахунок зниження модуля пружності під дією МГКН. Вплив МГКН на гірські породи оцінюється модулем пружності, оскільки він характеризує деформаційні властивості, від яких залежить енергоємність руйнування.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Проведено експериментальне дослідження впливу МГКН на гірські породи на прикладі граніту. У результаті визначено модуль пружності E граніту до і після експерименту неруйнівним методом нанноіндентування за допомогою пристрою «Мікрон Гамма» [5]. Цей метод заснований на безперервній автоматичній реєстрації залежності навантаження на індентор від глибини вдавлювання з побудовою діаграми навантаження. Діаграма навантаження зразку граніту результати її програмної обробки представлені на рис. 1, 2. Умовні позначення рис. 1 та 2 наступні: № – порядковий номер вдавлювання; P – навантаження, г; V – швидкість навантаження, гр/с; $h1$ – глибина занурення індентора при максимальному навантаженні, мкм; $h2$ – глибина занурення після зняття навантаження, мкм; H (Мартел) – твердість по Мартелу, МПа; H (Мейер) – твердість по Мейеру, МПа; E – модуль пружності, ГПа; $A_{об}$ – робота витрачена на подолання опору матеріалу, Дж; $A_{уп}$ – робота пружно-пластичних деформацій, Дж; s (пласт) – коефіцієнт пластичності, в. о.; K пласт – коефіцієнт пластичності матеріалу, в.о.; D – максимальне відхилення значень вище перелічених фізичних величин у дійсних одиницях; M – середньостатистичне значення вище перелічених фізичних величин у дійсних одиницях, % – похибка, %.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

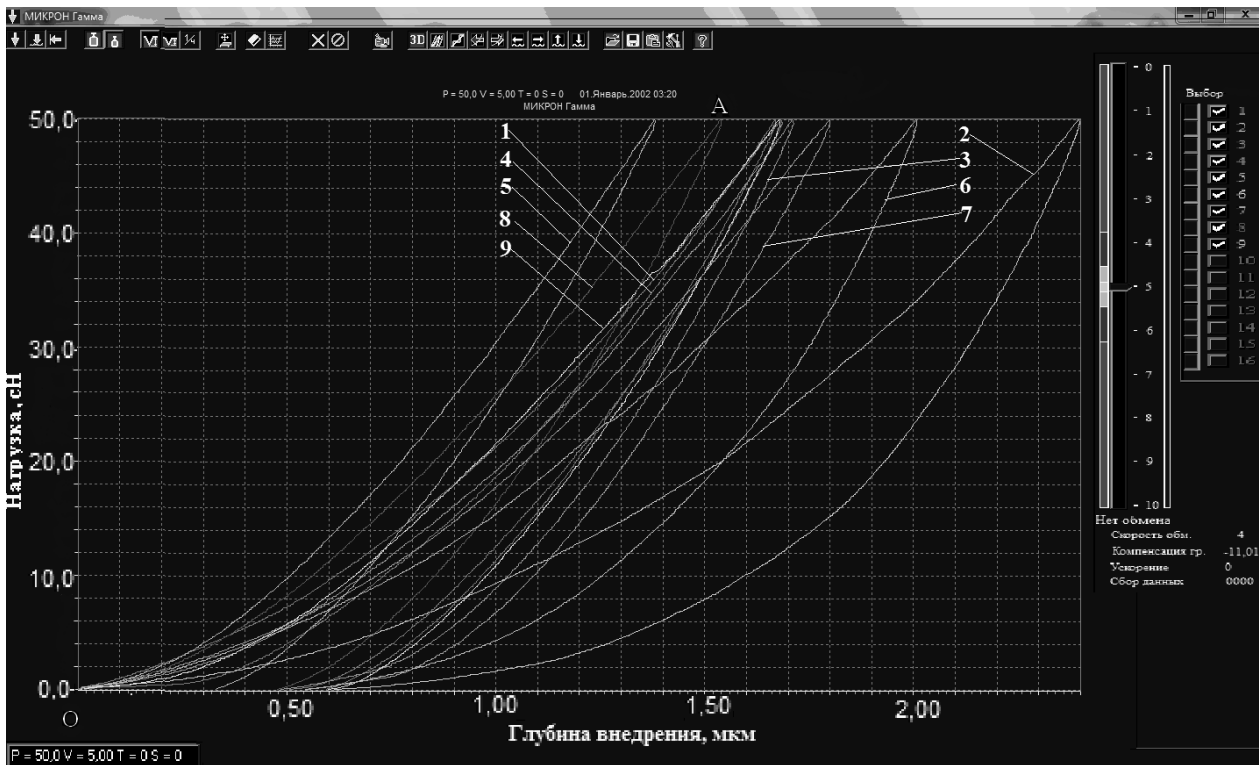


Рисунок 1 – Діаграми навантаження граніту інденктором Берковича

Таблица расчетов

P = 50,0 V = 5,00

N ²	h1,mkm	h2,mkm	H(Маргел)	Hн(Мейер)	H(Мейер)	E, GPa	Aоб	Aуп	s (пласт)	K пласт
1	1,667	0,589	7,491	7,347	16,115	105,8	28,33	21,56	0,239	0,522
2	2,395	0,609	3,560	3,558	5,471	72,0	39,95	24,34	0,391	0,710
3	1,711	0,480	7,553	6,975	14,232	104,9	30,89	21,44	0,306	0,585
4	1,683	0,501	8,295	7,201	15,068	106,6	32,33	22,66	0,299	0,598
5	1,379	0,324	12,507	10,731	26,604	146,2	26,80	21,44	0,200	0,531
6	1,678	0,594	8,143	7,251	14,796	109,1	31,42	21,15	0,327	0,600
7	1,797	0,545	6,982	6,317	13,140	93,8	33,13	21,80	0,342	0,584
8	1,536	0,472	10,116	8,647	19,369	123,2	29,97	21,11	0,296	0,575
9	2,005	0,540	5,713	5,075	8,476	91,6	37,64	22,86	0,393	0,699
D	0,276	0,083	2,381	1,911	5,697	19,537	3,971	1,001	0,060	0,061
M	1,761	0,517	7,818	7,011	14,808	105,911	32,273	22,040	0,310	0,600
%	15,7	16,0	30,5	27,3	38,5	18,4	12,3	4,5	19,3	10,2

Отступ % 10 dP % 10

Расчет Печать Форма Редактор

Рисунок 2 – Результати програмної обробки діаграм навантаження граніту

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Діаграма навантаження граніту складається з двох характерних ділянок: кривої навантаження (ОА) та кривої розвантаження (АО). На діаграмі відображається робота, витрачена індентором на подолання опору матеріалу $A_{об}$ – площа над гілкою навантаження, рис. 1. А також робота пружних сил виконана матеріалом на відновлення форми $A_{уп}$ після вдавлювання – площа під гілкою розвантаження, рис. 2. Визначення модуля пружності зразка по діаграмі навантаження базується на методі Олівера-Фара [6]. Результати представлені на рис. 2.

Модуль пружності для граніту визначався з результатів програмного аналізу (рис. 2) 9-ти діаграм навантаження (рис. 1). Кожна діаграма навантаження відповідає уколу індентора. Кінцеве значення модуля пружності для усього зразка визначалось як середньостатистичне з 9-ти результатів і становить – 105,91 ГПа. Дисперсія значень складає 18,4 %. Даний зразок граніту має включення слюди, польового шпату та кварцу. Незначне розсіювання даних обумовлене крупнозернистістю матеріалу зразка. Точки вдавлювання індентора розміщені, здебільшого на зернах кварцу, так як його відсоткова частка у зразку найбільша (65 %).

Після обробки зразків граніту гідрокавітаційним та МГКН повторно отримано діаграми навантаження та результати їх програмної обробки, по аналогії до результатів представлених на рис. 1 та 2. З аналізу цих результатів зроблено висновок, що при обробці тільки кавітаційним навантаженням граніту E знижується на 3,9 % зі 105,91 до 101,82 ГПа. При комбінованому МГКН, E знижується на 7,1 % зі 105,91 до 98,39 ГПа.

Збільшення впливу МГКН на модуль пружності, у порівнянні з кавітаційним навантаженням, пояснюється наступним фізичним явищем, описаним у роботах І. М. Федоткіна, Я. І. Френкеля та інших [7–8]. Під дією електромагнітного поля на поверхні кавітаційних бульбашок виникають електричні заряди. При схлопуванні кавітаційної бульбашки (зі зменшенням її розмірів) відбувається концентрація напруженості електричного поля на поверхні. Під дією цього електричного поля відбувається активація та іонізація газів всередині бульбашки. Процес завершується електричним розрядом. У результаті, виникає електричний пробій, який супроводжується появою трьохвалентного кисню O_3 . Таким чином, під дією електромагнітного поля збільшується кількість кисню (ядер кавітації) у рідині на (6...20) % [9]. Внаслідок цього, інтенсифікується кавітаційний процес, що викликає появу дефектів і, як результат, зниження модуля пружності.

Для проведення експериментальних досліджень зміни модуля пружності гірських порід під дією МГКН створено схему стенду, рис. 3.

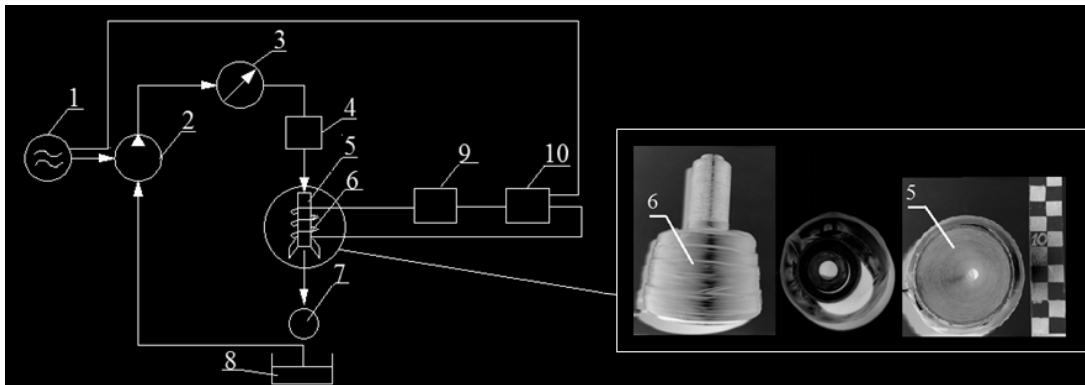


Рисунок 3 – Схема експериментального стенду для дослідження процесу ослаблення гірських порід магнітно-гідрокавітаційним навантаженням:
1 – електрична мережа змінного струму 220 В; 2 – відцентровий насос JEX 500;
3 – манометр ДМ 05063; 4 – муфта; 5 – кавітатор; 6 – обмотка індуктивності;
7 – зразок породи; 8 – резервуар; 9 – випрямляч ВСА-5К;
10 – блок резисторів ПЭВ-100

Схема працює наступним чином. Промивна рідина відкачується з резервуару 8 по системі труб за допомогою відцентрового самовсмоктуючого насосу JEX 500 (позиція 1). Вибір типу насоса обумовлений тим, що він є самовсмоктуючим та не потребує додаткових елементів приводу. Це зменшує габарити установки та кількість елементів схеми і тим самим підвищує її надійність. Тиск у системі подачі води вимірювався за допомогою манометра ДМ 05063 (позиція 3). Кавітатор 5 служить для створення зони зниженого тиску (тиску насиченого пару при даній температурі) для утворення кавітації. Має наступні параметри: діаметр критичного перерізу 9 мм, довжина дифузору 30 мм, діаметр виходу дифузору 45 мм, кут розкриття – 60° . Обмотка індуктивності 6 служить для створення електромагнітного поля всередині кавітатора 5 та забезпечує фокусування кавітаційної каверни. Виконана з міді, діаметр 0,5 мм. Кількість витків – 350 шт. Обмотка живиться від електричної мережі 220 В і під'єднана через випрямляч ВСА-5К (позиція 9). Працює у режимі плавного регулювання випрямленого струму та напруги в межах (0...12) А та (0...65) В, відповідно. Для уникнення короткого замикання у ланцюзі 1-10-9-6 (рис. 4) та для забезпечення безперебійної роботи випрямляча використано блок резисторів ПЭВ-100 (позиція 10). Значення магнітної індукції B вимірювалась магнітометром НТ20. Експериментальне значення B – 8 мТл.

ВИСНОВКИ.

1. У ході експериментальних досліджень визначено, що при обробці тільки кавітаційним навантаженням граніту модуль пружності знижується на 3,9 % зі 105,91 до 101,82 ГПа. При комбінованому магнітно-гідрокавітаційному навантаженні – зменшується на 7,1 % зі 105,91 до 98,39 ГПа.

2. Зростання впливу магнітно-гідрокавітаційного навантаження на модуль пружності (у порівнянні з кавітаційним навантаженням) пояснюється збільшен-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

ням кількості кисню (ядер кавітації) у промивній рідині під дією електромагнітного поля на (6...20) %. Внаслідок цього, інтенсифікується кавітаційний процес, що викликає появу дефектів і, як результат, зниження модуля пружності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Брылин В. И. Бурение скважин специального назначения [Текст]/ В. И. Брылин; - Учебное пособие.– Томск.: Изд-во ТПУ, 2006.– 255 с.
2. Кучерявый Ф.И. Разрушение горных пород [Текст]/ Ф.И. Кучерявый, Ю.М. Кожушко// М. – «Недра», 1972, 240 с.
3. Партон, В.З. Механика разрушения: От теории к практике [Текст] / В.З. Партон// М.: Наука. Пробл. науки и техн. Прогресса, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 240 с, ISBN 978-5-382-00157-9.
4. Кабінет Міністрів України, постанова від 1 березня 2010 р. № 243 «Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010 - 2015 роки» [Електронний ресурс]/ Сайт Кабінету Міністрів України - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/243-2010-п> – Заголовок з екрана.
5. Игнатович С. Р. Методика исследования физико-механических свойств поверхностных слоев материалов при усталости с использованием многофункционального прибора «Микрон - Гамма» [Текст] / С. Р. Игнатович, И. М. Закиев, Д. И. Борисов, В. И. Закиев. // Авиационно-космическая техника и технология, 2004, - Вып. № 8 (16). – с. 163 – 166.
6. Oliver W. Improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments / W. Oliver, G. Pharr // Journal of materials research. – 1992. – Т. 7. – №. 6. – с. 1564-1583.
7. Федоткин И. М. Кавитация. Кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. Часть I/ И. М. Федоткин, И. С. Гулый// Киев - «Полиграфкнига», 1997, 840 с.
8. Федоткин И. М. Роль электронного потенциала в зарождении паровой фазы на металлических поверхностях/ И. М. Федоткин, Ю. И. Федоткин // Киев – Наукова думка, сборник «Конвективный перенос», 1982 г., с. 105 – 110.
9. Классен В. И. Омагничивание водных систем [Текст] // В. И. Классен// М. – Химия, 1982 г., 296 с.

ROCKS WEAKENING WITH MAGNETIC-HYDROCAVITATION STRESSING

O. Terentiev, I. Streltsova

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

vul. Borschagivska, 115, apt. 104, Kyiv, 03056, Ukraine.

E-mail: Oltr_1@ukr.net

M. Zakiiev

Kirovograd Flight Academy National Aviation University

vul. Dobrovolskogo, 1, Kirovograd, 25005, Ukraine. E-mail: zakiev@ukr.net

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

The results of rocks' elastic modulus change under the influence of magnetic-hydrocavitation stressing using granite as an example was showed. To define elastic modulus "MicronGamma" devise which is based on the Oliver-Pharr's method principle was used. It was defined that the influence of cavitation stressing causes elastic modulus reducing on 3,9 % - from 105,91 to 101,82 GPa. The combination of magnetic-hydrocavitation stressing causes modulus reducing on 7,1 % from 105,91 to 98,39 GPa. Magnetic-hydrocavitation influence increasing on elastic modulus (comparing with cavitation stressing) explained by oxygen volume (cavitation nucleus) increasing in drilling fluid under the influence of electromagnetic field on 6...20 %. As a result the cavitation process is getting intensified which causes defects formation and elastic modulus reducing respectively. The scheme of the test bench was showed.

Key words: elastic modulus, rock, cavitation.

REFERENCES

1. Brylin, V.I. (2006). Burenii skvazhyn spetsialnogo naznacheniiia [Well drilling of special purpose], TPU, Tomsk, Russia.
2. Kucheriavii, F.I. and Kozhushko, Yu.M. (1972). Razrusheniie gornyykh porod [Rock breaking], Nedra, Moskov, Russia.
3. Parton, V.Z. (1990). Mekhanika razrusheniia. Ot torii k praktike [Mechanics of rock breaking. From theory to practice], Nauka, Moskov, Russia.
4. Cabinet of Ministers of Ukraine (2010) [electronic resource]. Resolution of March 1, 2010 № 243 "On approval of the State Target Economic Program on energy efficiency and the development of energy production from renewable energy sources and alternative fuels in 2010 - 2015" – website: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/243-2010-п> - title of the screen.
5. Ignatovich, S. R., Zakiev, I. M., Borisov, D. I. and Zakiev, V.I. (2004) "Technique to study the physical and mechanical properties of the surface layers of materials under fatigue using a multifunctional device "Micron - Gamma", Aviatcionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya, no 8 (16), pp. 163 – 166, Ukraine.
6. Oliver, W. and G.Pharr (1992) "Improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments", Journal of materials research. – Vol. 7, no. 6., pp. 1564-1583, USA .
7. Fedotkin, I. M. and Gulyj, I. S. Kavitationnaia tekhnika i tekhnologii, ih ispolzovanie v promyshlennosti. Chast I [Cavitation. Cavitation equipment and technology, it use in industry. Part I], Poligrafkniga, Kyiv, Ukraine.
8. Fedotkin, I. M. and Fedotkin, Ju. I. (1982). "The role of electron potential in the vapor phase nucleation on metal surfaces", Naukova dumka, Issue "Konvektivnyi perenos", pp. 105 – 110, Kyiv, Ukraine.
9. Klassen, V. I. (1982) Omagnichivaniie vodnykh system [Water systems' magnetization], Khimiia, Moskov, Russia.

Стаття надійшла 24.03.2015.