

622.02.622.411.322

Шевченко В.Г., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Дякун Р.А., канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,
Светличный В.Н., магистр
(ИГТМ НАН Украины)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК УРАНОВМЕЩАЮЩЕЙ ПОРОДЫ ПРИ
СТАЦИОНАРНОМ И ДИНАМИЧЕСКОМ ЕЕ НАГРУЖЕНИИ
В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ**

Шевченко В.Г., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Дякун Р.А., канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
Світличний В.М., магістр
(ІГТМ НАН України)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
УРАНОВМІЩУЮЧОЇ ПОРОДИ ПРИ СТАЦІОНАРНОМУ
І ДИНАМІЧНОМУ ЇЇ НАВАНТАЖЕННІ У ГАЗОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

Shevchenko V.G., D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Dyakun R.A., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,
Svetlichniy V.N., M.S. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

**THE STUDY OF CHANGING PHYSICAL AND MECHANICAL
CHARACTERISTICS OF THE URANIUM-CONTAINING ROCK AT ITS
STATIONARY AND DYNAMIC LOADING
IN THE GASEOUS ENVIRONMENT**

Аннотация. Впервые в лабораторных условиях использована идея управления горным давлением путем изменения давления в гидроцилиндрах механизированных крепей очистного забоя по заранее установленным алгоритмам, которая представлена в патенте Украины №89965, что позволило разработать метод моделирования стационарного и динамического нагружений горной породы в газовой среде для определения изменения ее физико-механических характеристик. Установлено, что предел прочности на одноосное сжатие Кировоградского гранита увеличивается в газовой среде на уровень соответствующий давлению газа, приходящегося на боковую поверхность образца, из-за отсутствия проницаемости гранита, но после циклического воздействия напряжениями сжатия в газовой среде предел прочности приближается к значению, соответствующему испытаниям на одноосное сжатие без газонасыщения, т.е. появляется газовая проницаемость гранита. Установлен полиномиальный характер изменения модуля упругости Кировоградского гранита от скорости его нагружения.

Ключевые слова: гранит, стационарное, динамическое нагружение, газовая среда, предел прочности, модуль упругости.

Актуальность. Для теоретических исследований методами компьютерного моделирования на современном уровне процессов ведения буровзрывных работ на урановмещающих породах необходимым является [1-4] разработка методов определения основных параметров разрушения пород при разных скоростях нагружения, а также разных давлениях газа, что способствует разработке новых технических решений для эффективного разрушения крепких пород при проходческих и очистных работах урановых шахт.

Метод исследований разработан на основе методик ИГТМ НАН Украины: «Методика определения физико-механических свойств выбороопасных пород», «Методика комплексной оценки показателей надежности и качества системы управления процессом добычи угля», «Методика физического моделирования динамического разрушения угля» и патента на полезную модель «Спосіб управління механізованим кріпленням очисного вибою» [5-6].

Объектом исследований являются процессы в горной породе связанные с добычей урановой руды (изменяющиеся параметры физико-механических характеристик урановмещающей породы во время стационарного нагружения, а также динамического воздействия в газовой среде).

Предметом исследований является закономерности изменения физико-механических характеристик горной урановмещающей породы во время стационарного, а также динамического нагружения в газовой среде.

Целью исследований является установление закономерностей изменения физико-механических характеристик горной урановмещающей породы во время стационарного нагружения, а также динамического воздействия для разработки рекомендаций по повышению производительности и безопасности процессов добычи урановой руды при интенсификации горных работ.

Задачи исследований:

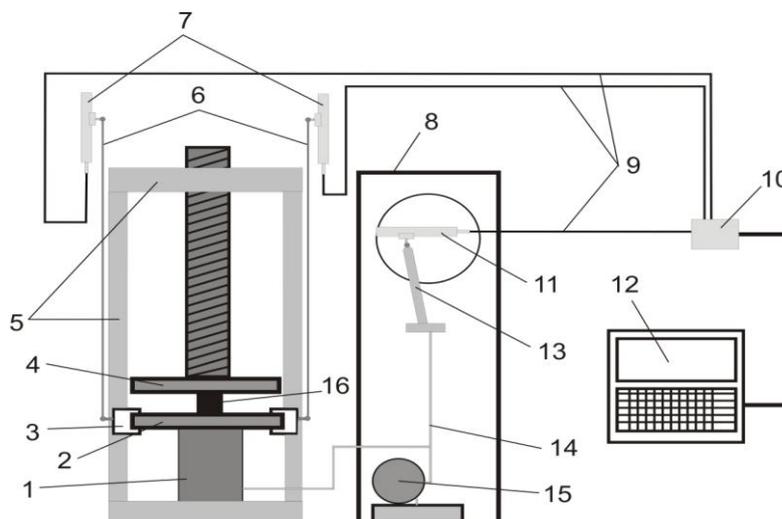
- установить закономерности изменения физико-механических характеристик урановмещающей породы во время стационарного нагружения, а также воздействия динамического нагружения в газовой среде;

- оценить влияние скорости нагружения горной урановмещающей породы на изменение физико-механических характеристик породы.

Методами исследований являются лабораторные методы исследования физико-механических характеристик урановмещающей породы, натурные наблюдения с фиксацией параметров при помощи специализированных стандартных приборов, обработка результатов исследований производится с помощью современных программно-вычислительных комплексов с использованием методов математической статистики, теории вероятностей, системного анализа.

Средства исследований (рис. 1) – модернизированный пресс типа П-50, специализированная мини видеокамера, аналогово-цифровой преобразователь NI-6009, датчики перемещения VTL-5, акустико-эмиссионные датчики, авторское программное обеспечение одновременной записи данных акустико-эмиссионных процессов и параметров изменение физико-механических характеристик горной породы при ее нагружении в цифровом виде на электронно-вычислительную машину.

Аналогово-цифровой преобразователь NI-6009 предназначен для передачи цифровых данных в аналоговом виде с датчиков перемещения на электронно-вычислительную машину.



- 1 – поршень гидравлический; 2 – нижняя нагружающая плита пресса;
 3 – приспособление для закрепления шарнира; 4 – верхняя упорная плита пресса;
 5 – силовая рама пресса; 6 – штанга передающая линейное перемещение нижней плиты пресса на датчики; 7 – датчики перемещения; 8 – управляющий модуль работы пресса;
 9 – соединительные провода от датчиков перемещения; 10 – аналогово-цифровой преобразователь; 11 – датчик перемещения для определения усилия пресса;
 12 – электронно-вычислительная машина; 13 – штанга соединенная с гидравлической системой пресса; 14 – гидравлическая система пресса; 15 – силовой привод гидравлической системы пресса; 16 – образец горной породы

Рисунок 1 – Принципиальная схема модернизированного пресса типа П-50

Датчики перемещения ВТЛ-5 предназначены для фиксирования данных в аналоговом виде параметров нагружения горных пород прессом типа П-50 (нагрузка, деформация, модуль упругости и т.д.).

Акустико-эмиссионные датчики предназначены для фиксирования акустической эмиссии образцов горных пород при их нагружении на прессе типа П-50.

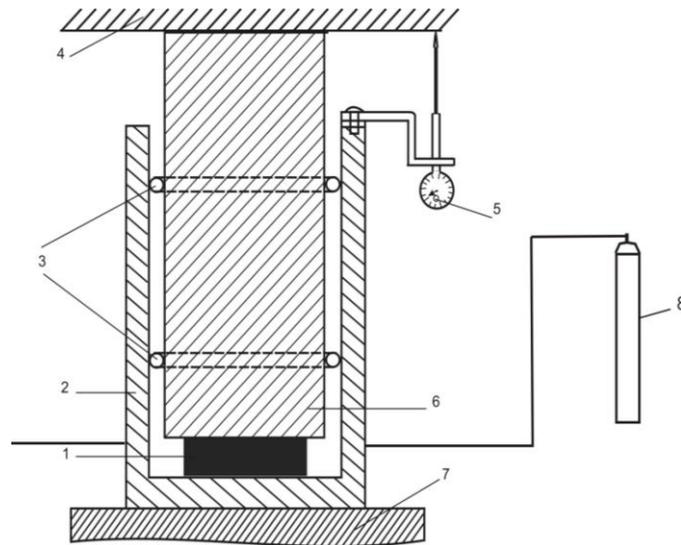
Результаты работы. Рассмотрим более подробно методы исследований.

1. Метод определения физико-механических характеристик урановмещающей породы при стационарном ее нагружении в нормальных условиях и в газовой среде.

Нагружение образцов горной породы происходит на модернизированном прессе типа П-50, принципиальная схема которого представлена на рис.1 [6].

Для проведения исследований изменения физико-механических характеристик горной породы в газовой среде на модернизированный пресс вместо образца 16 (рис. 1) устанавливается стенд, представленный на рис. 2.

Из баллона 8 газ поступает в камеру, находящуюся между поршнем 6 и корпусом 2 стенда. Образец 1 горной породы после насыщения и выдержки в газовой среде нагружается прессом через нижнюю 7 и верхнюю 4 плиты пресса.



1 – образец породы; 2 – корпус станда; 3 – резиновые кольца; 4 – верхняя плита прессы;
5 – индикатор механический часового типа для визуального контроля перемещения поршня;
6 – поршень; 7 – нижняя плита прессы; 8 – баллон с техническим азотом

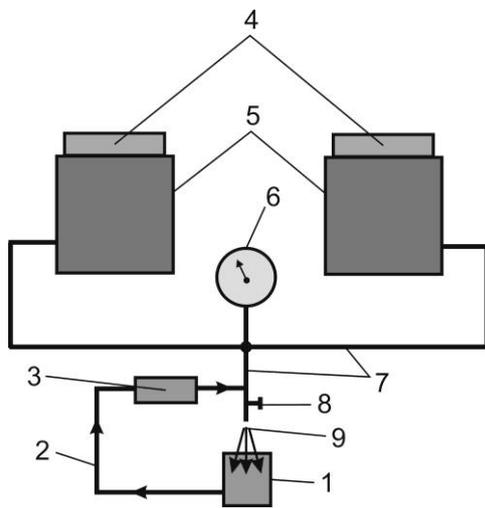
Рисунок 2 – Схема станда для сжатия образцов горной породы в газовой среде, установленного на гидравлическом прессе типа П-50

Результаты изменения параметров нагружения и разрушения горной породы в газовой среде через аналогово-цифровой преобразователь поступают и сохраняются в электронно-вычислительной машине.

2. Метод определения физико-механических характеристик урановмещающей породы при динамическом ее нагружении в газовой среде.

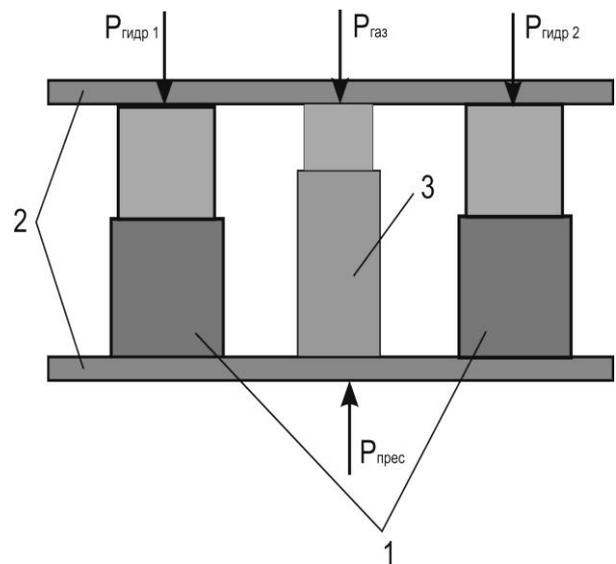
Для моделирования динамического нагружения урановмещающей породы в газовой среде совместно с прессом типа П-50 (рис.1) и стандом испытания образцов горной породы в газовой среде (рис.2) дополнительно используется система двух гидропоршней, представленная на рис.3. Поршни 4 при закачивании рабочей жидкости посредством насоса 3 в трубопровод 7 перемещаются и при ограничении их перемещения, происходит рост гидравлического давления, что отражается на манометре 6. Для быстрого сброса давления в системе и соответственно для динамического нагружения образца горной породы (рис. 4) используется гидравлический кран 8 (рис. 3).

Моделирование динамического нагружения урановмещающей породы в газовой среде осуществляется посредством установки оборудования по схеме, представленной на рис. 4, с использованием идеи управления горным давлением путем изменением давлением в гидроцилиндрах механизированных крепей очистного забоя по заранее установленным алгоритмам, которая представлена в патенте [5], что позволило разработать метод моделирования стационарного и динамического нагружений горной породы в газовой среде для определения изменения ее физико-механических характеристик.



- 1 – емкость с рабочей жидкостью;
- 2 – трубопровод малого давления;
- 3 – гидравлический насос высокого давления;
- 4 – перемещающиеся поршни; 5 – корпуса для поршней 4; 6 – гидравлический манометр;
- 7 – гидравлический трубопровод высокого давления; 8 – гидравлический кран для быстрого сброса рабочей жидкости в емкость 1; 9 – сброс рабочей жидкости в емкость 1

Рисунок 3 – Схема стенда двух гидравлических поршней



- 1 – корпуса гидравлических поршней (см.рис.3); 2 – нижняя и верхняя плиты пресса (см.рис.1); 3 – стенд для сжатия образцов горной породы в газовой среде (см.рис.2)

Рисунок 4 – Принципиальная схема установки оборудования при испытании горной породы на динамическое одноосное сжатие в газовой среде

Результатом $P_{обр}$ нагружения по схеме, показанной на рис.4, на образец горной породы будет

$$P_{обр} = P_{прес} - P_{гидр1} - P_{гидр2} - P_{газ}; \quad (1)$$

где $P_{обр}$ – усилие сжатия передаваемое на образец, кг; $P_{прес}$ – усилие создаваемое прессом, кг; $P_{гидр1}$ – усилие на первом гидравлическом поршне, кг; $P_{гидр2}$ – усилие на втором гидравлическом поршне, кг; $P_{газ}$ – усилие, создаваемое на стенде за счет давления газа, кг.

Тогда напряжение сжатия горной породы определяется по формуле (2)

$$\sigma_{сжат}^{газ} = \frac{P_{обр}}{S_{обр}}; \quad (2)$$

Результаты определения изменения физико-механических характеристик урановмещающей породы (Кировоградского гранита) при стационарном и динамическом ее нагружениях в газовой среде показаны на рис.5 – 10, 13 и в таблице 1.

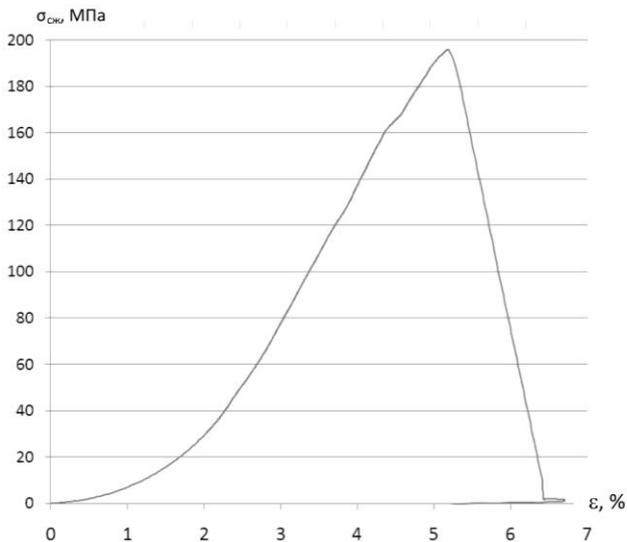


Рисунок 5 – Стационарное нагружение образца кубической формы Кировоградского гранита в газовой среде при давлении 71 атм, где по оси абсцисс – деформация, %; по оси ординат – напряжение сжатия, МПа

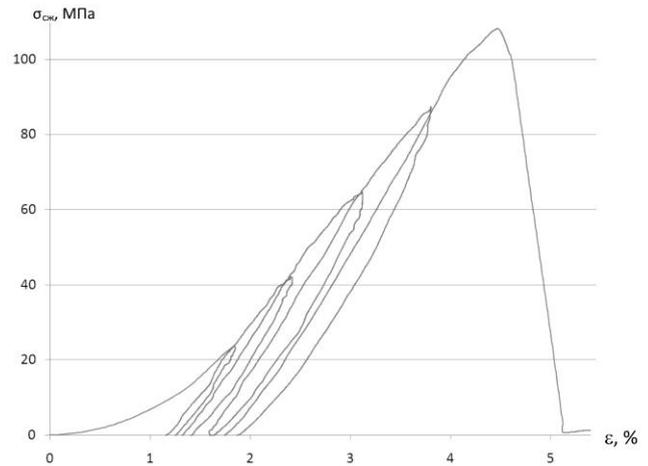


Рисунок 6 – Стационарное циклическое нагружение образца кубической формы Кировоградского гранита в газовой среде при давлении 111 атм, где по оси абсцисс – деформация, %; по оси ординат – напряжение сжатия, МПа

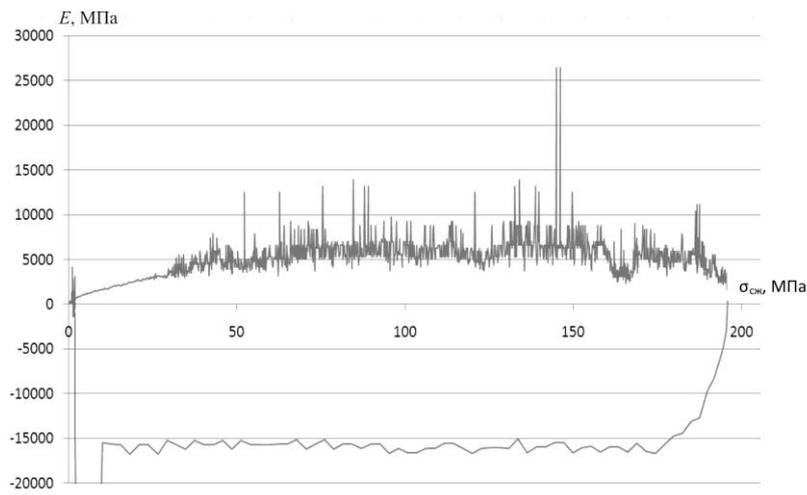


Рисунок 7 – Изменение модуля упругости при нагружении образца кубической формы Кировоградского гранита в газовой среде при давлении 67 атм, где по оси абсцисс – напряжение сжатия, МПа; по оси ординат – модуль упругости, МПа

Для случаев деформирования одноосного сжатия в газовой среде и без газонасыщения видна существенно отличительная нестационарность изменения модуля упругости в процессе деформирования гранита в газовой среде (см.рис.7) за счет дополнительного вклада энергии газа под давлением в процесс упрочнения газонепроницаемого гранита.

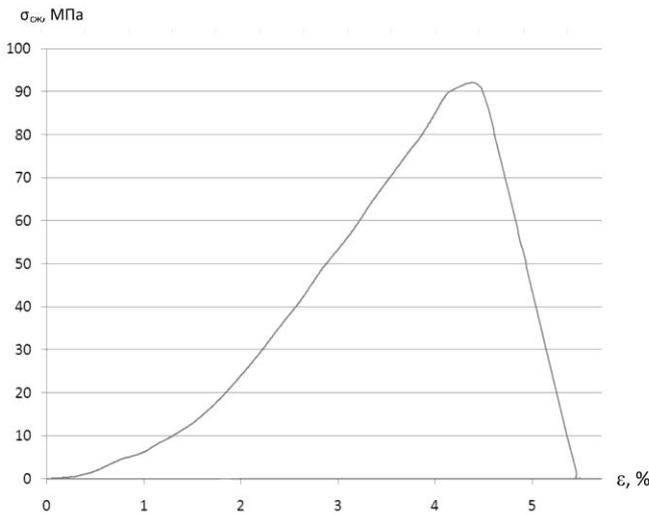


Рисунок 8 – Стационарное нагружение образца кубической формы Кировоградского гранита в обычных условиях, где по оси абсцисс – деформация, %; по оси ординат – напряжение сжатия, МПа

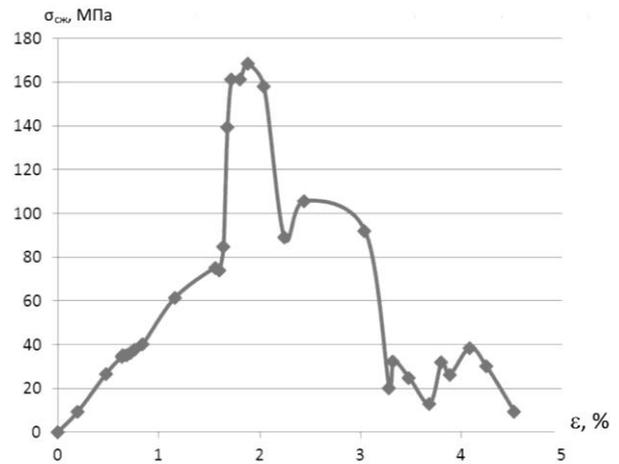


Рисунок 9 – Изменение модуля упругости при нагружении образца кубической формы в газовой среде при стационарном ($\sigma_{сжст}^{газ}=0-78$ МПа) и динамическом нагружении $\sigma_{сжст}^{газ}=78-168$ МПа, где по оси абсцисс – напряжение сжатия, МПа; по оси ординат – деформация образца, %

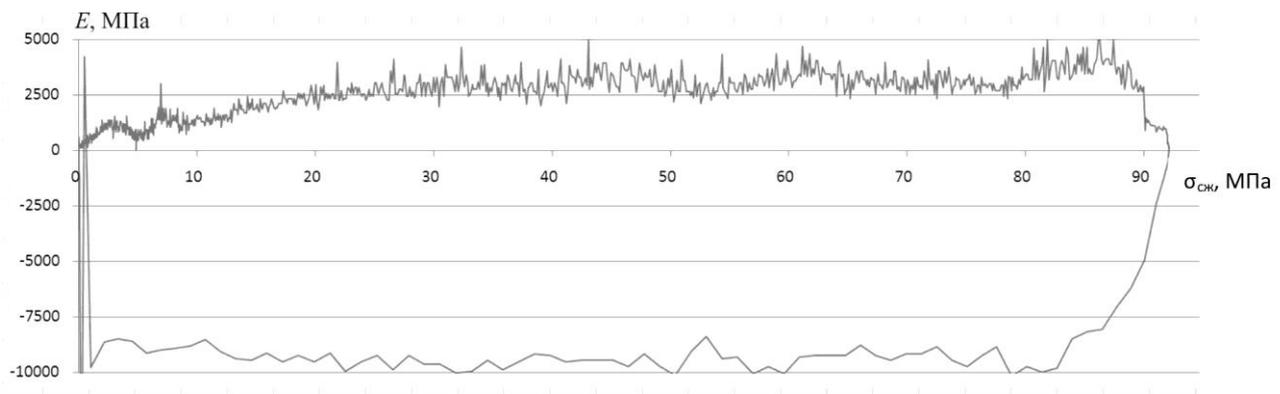


Рисунок 10 – Изменение модуля упругости при нагружении образца Кировоградского гранита кубической формы в обычных условиях, где по оси абсцисс – напряжение сжатия, МПа; по оси ординат – модуль упругости, МПа

При сравнении приведенных данных следует, что при испытании Кировоградского гранита в газовой среде, его усредненный модуль упругости увеличивается до двух раз по отношению к испытаниям в обычных условиях, также и предел прочности увеличивается до двух раз.

Из этого следует, что для данной породы газ при испытании на одноосное сжатие оказывает на боковые стенки образца подпирющее действие, т.е. данная горная порода оказывается практически непроницаемой во время ее нагружения, – во время образования дополнительной трещиноватости в структуре породы из-за увеличивающегося напряжения сжатия.

Принципиальная схема к расчету влияния газонасыщения на прочность непроницаемой горной породы при ее нагружении в газовой среде представлена на рис. 11.

Таблица 1 – Сводные данные физико-механических характеристик Кировоградского гранита для различных условий нагружения

| | Предел прочности, МПа | Модуль упругости, МПа | Модуль спада, МПа | Удельная энергия аккумулярированной образцом перед разрушением, Дж/см ³ | Интенсивность аккумулярированной удельной энергии образцом при деформировании, перед началом разрушения, Дж/(см ³ ·с) |
|--|-----------------------|-----------------------|-------------------|--|--|
| Стационарное нагружение в обычных условиях | 92 | 3069 | -9315 | 1,966 | 0,131 |
| Стационарное нагружение с газом – азотом | 195 | 5778 | -15884 | 4,948 | 0,247 |
| Стационарное циклическое нагружение с газом – азотом | 108 | 3217 | -19055 | 2,329 | 0,014 |
| Динамическое нагружение с газом – азотом | 170 | 65600 | -34150 | 1,025 | 4,1 |

Из рассмотренного рисунка следует, что предел прочности для непроницаемой породы равен

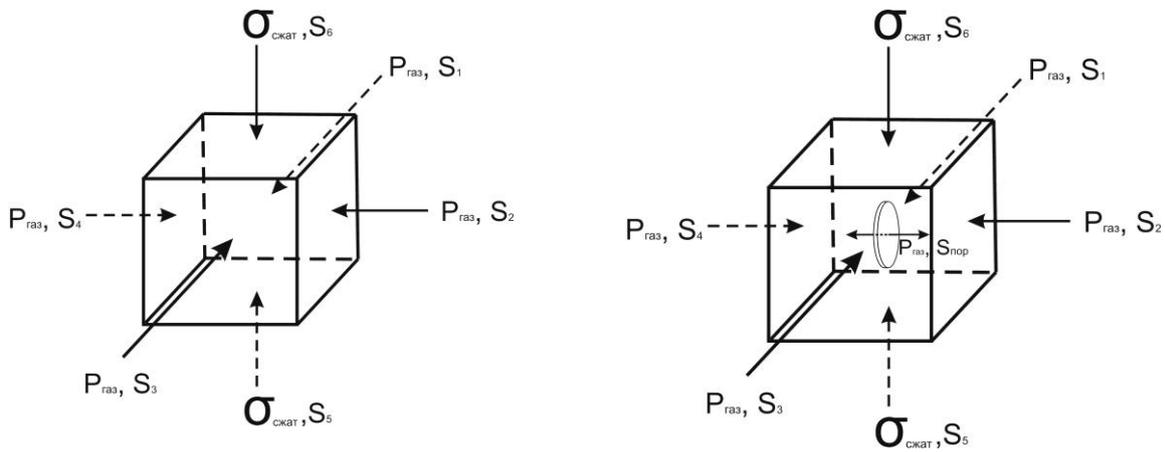
$$\sigma_{сжат}^{газ} = \sigma_{сжат}^{н.у.} + \frac{P_{газ} \cdot \left(\sum_{i=1}^4 S_i \right)}{(S_5 + S_6)/2}; \quad (3)$$

где $\sigma_{сжат}^{н.у.}$ - предел прочности породы при испытании в нормальных условиях (температура окружающей среды 20⁰С, давление воздуха 1 атм).

На рис. 12 представлена расчетная схема определения прочности с учетом появления проницаемости в горной породе.

Из рис.12 следует, что предел прочности для проницаемой породы равен

$$\sigma_{сжат}^{газ} = \sigma_{сжат}^{н.у.} + \frac{P_{газ} \cdot \left(\sum_{i=1}^4 S_i \right) - \frac{P_{газ}}{S_{пор}}}{(S_5 + S_6)/2}; \quad (4)$$



$\sigma_{сжат}$ – напряжение сжатия образца горной породы, МПа; $P_{газ}$ – давление газа, атм; S_{1-6} – площадь граней с соответствующим индексом

$S_{пор}$ – проекция пор, заполненных насыщаемым под давлением газом, на боковые грани

Рисунок 11 – Схема к расчету влияния газонасыщения на прочность непроницаемой горной породы при ее нагружении в газовой среде

Рисунок 12 – Схема к расчету влияния газонасыщения на прочность проницаемой горной породы при ее нагружении в газовой среде

На рис. 13 представлен установленный в результате экспериментов по определению изменения физико-механических характеристик Кировоградского гранита полиномиальный характер изменения модуля упругости от скорости нагружения (положительные значения) и разгрузки проявляющейся при разрушении (отрицательные значения) образцов кубической формы в газовой среде.

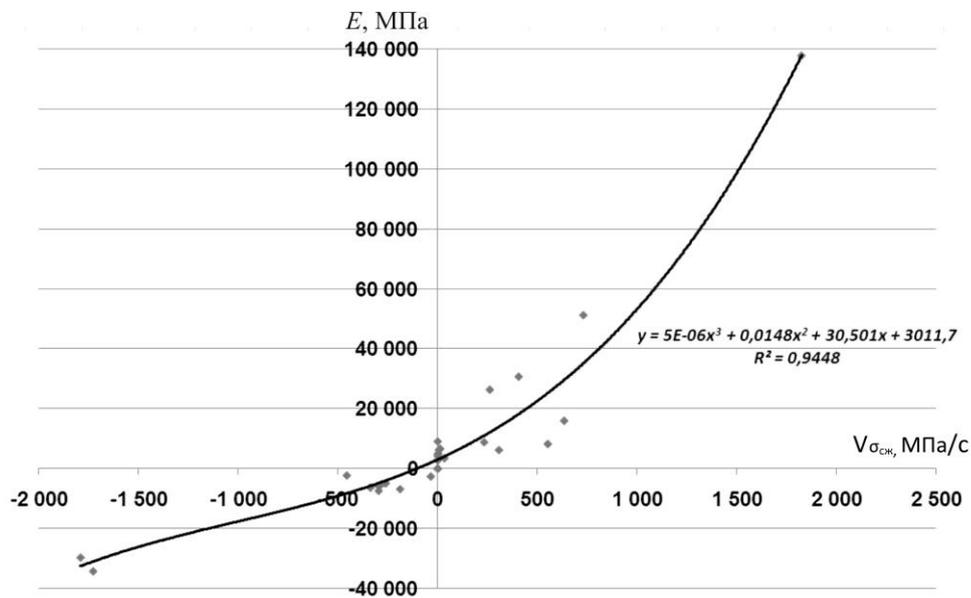


Рисунок 13 – Изменение модуля упругости от скорости нагружения Кировоградского гранита в газовой среде, где по оси абсцисс – скорость нагружения (разгрузки, после достижения предела прочности – отрицательные значения), МПа/с; по оси ординат – модуль упругости (модуль спада, после достижения предела прочности – отрицательные значения), МПа

Увеличение модуля упругости во время динамического нагружения Кировоградского гранита в газовой среде с незначительным снижением предела прочности приводит к значительно более существенному снижению затрат на момент начала разрушения по отношению к стационарному виду нагружения до предела прочности.

Выводы. Впервые в лабораторных условиях использована идея управления горным давлением путем изменения давлением в гидроцилиндрах механизированных креплений очистного забоя по заранее установленным алгоритмам, которая представлена в патенте Украины №89965 от 06.02.2014, что позволило разработать метод моделирования стационарного и динамического нагружений горной породы в газовой среде для определения изменения ее физико-механических характеристик.

Установлено, что для Кировоградского гранита предел прочности на одноосное сжатие при газонасыщении как для стационарного, так и для динамического нагружений, находятся на одном уровне, но удельная энергия, запасенная образцом перед разрушением, в случае динамической нагрузки по отношению к стационарной в 5 раз меньше, при достижении модуля упругости на уровне до 140000 МПа и скорости нагрузки до 2000 МПа/с. При рассмотрении обоих видов нагружений в газовой среде получен полиномиальный характер зависимости модуля упругости от скорости нагружения. Увеличение мощности (увеличении скорости деформирования) удельной энергии аккумулированной образцом из Кировоградского гранита при нагружении в газовой среде, с 0,24 до 4,1 Дж/(см³·с), т.е в 17 раз, приводит к снижению энергетических затрат на одноосное разрушение в 5 раз.

Также установлено, что при циклическом одноосном воздействии нагрузка-разгрузка с последующим увеличением напряженности в цикле на 20 МПа в газовой среде предел прочности снижается на 40% по отношению к динамическому и стационарному нагружениям в газовой среде. Это указывает на повышение газовой проницаемости в граните при циклических нагрузках, приводящее к снижению предела прочности с увеличением количества циклов «нагрузка-разгрузка», что необходимо учитывать во время компьютерного моделирования ведения буровзрывных работ и соответственно циклического влияния на породный массив, приводящего к снижению его сплошности. Не столь значительное увеличение прочности в газовой среде высоких давлений при увеличении проницаемости Кировоградского гранита в результате циклического воздействия на него «нагрузкой – разгрузкой» указывает о существенном вкладе газообразных продуктов детонации и наличия газа-радона в породе в процесс эффективного разрушения гранита с применением компенсационных скважин при ведении буровзрывных работ с целью более рационального распределения энергии взрыва за счет энергии выделяющегося газа и наличия материнского газа-радона нарушенной предварительно породы предыдущими, приближающимися во времени и увеличивающимися по амплитуде циклами взрывного воздействия на массив при проходке выработок, либо при очистных работах. Газовая проницаемость гранита при увеличении напряженности остается не-

снижаемой и возрастает после цикла воздействия на него напряжениями «сжатия-разгрузки». Теоретический расчет на основании полученных данных изменения физико-механических характеристик гранита при его стационарном и динамическом нагружениях, дает возможность разработки более рациональных параметров ведения буровзрывных работ по крепким породам, в том числе совокупного использования сил горного давления и энергии детонации взрывчатого вещества для дробления до уровня рационального фракционного состава разрушенной горной породы с целью последующего снижения затрат при ее переработке на обогатительных фабриках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антощенко, Н.И. Разрушение горных пород взрывом / Н.И. Антощенко, А.Я. Попов. – Алчевск: Донбасский государственный технический университет, 2005. – 283 с.
2. Ткачук, К.Н. Управление разрушением горных пород взрывом на карьерах / К.Н. Ткачук, К.К. Ткачук, О. Я.Тверда. — К.: Основа, 2015. — 262 с.
3. Матвейчук, В.В. Взрывные работы / В.В. Матвейчук, В.П. Чурсалов. – М.: Академический проект, 2002. – 384 с.
4. Бабак, М.И. Состояние и перспектива развития производства урана в Украине / М.И. Бабак / Атомна енергетика та промисловість України. – 1999. – №2. – С. 11–13.
5. Спосіб управління механізованим кріпленням очисного вибою / С.П. Мінеєв, Л.Д. Шматовський, Р.А. Дякун, М.С. Зайцев // Патент на корисну модель № 89965, Бюл. №9, 12.05.2014 р. – 4 С.
6. Дякун, Р.А. Определение особенностей процесса образования тонкодисперсных фракций угля при его динамическом разрушении: дис...канд. техн. наук: 05.15.09: защищена 10.06.2011: утв. 10.11.11 / Дякун Роман Анатольевич. – Днепропетровск, 2011. – 161 с.

REFERENCES

1. Antoschenko, N.I. and Popov, A.Ya. (2005) *Razrushenie gornyih porod vzryivom* [The destruction of rocks by explosion], Donbass State Technical University, Alchevsk, Ukraine.
2. Tkachuk, K.N., Tkachuk, K.K. and Tverda, O.Ya. (2015) *Upravlenie razrusheniem gornyih porod vzryivom na karerah* [Management destruction of rocks by explosion in quarries], Osнова, Kiev, Ukraine.
3. Matveychuk, V.V. and Chursalov, V.P. (2002) *Vzryivnyie raboty* [Blasting works], Academic Project, Moscow, Russia.
4. Babak, M.I. (1999) “State and prospects of uranium production in Ukraine”, *Atomna energetika ta promislovisht Ukrainy*, no. 2, pp.11-13.
5. Mineev, S.P., Shmatovskiy, L.D., Dyakun, R.A. and Zaytsev, M.S., N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine (2014), *Sposib upravlinnya mehanizovanim kripennyam ochisnogo viboyu* [Control method mechanized fastening longwall], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. 89965.
6. Dyakun, R.A. (2011), «Definition of features the process of formation fine fractions of coal in its dynamic fracture», Abstract of Ph.D. dissertation, Geotechnical mechanics, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine

Об авторах

Шевченко Владимир Георгиевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, V.Shevchenko@nas.gov.ua

Дякун Роман Анатольевич, кандидат технических наук, научный сотрудник в отделе управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, romen@ua.fm

Светличный Вячеслав Николаевич, младший научный сотрудник в отделе управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, romen@ua.fm

About the authors

Shevchenko Vladimir Georgiyevich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Scientific Secretary of the Institute, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, V.Shevchenko@nas.gov.ua

Dyakun Roman Anatolievich, Ph.D., Candidate of technical Science (Ph.D.), a research associate in the Department of pressure dynamic control in rocks, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (NASU IGTM), Dnepropetrovsk, Ukraine

Svetlichniy Vyacheslav Nikolaevich., Master of Science, Junior Researcher in the Department of pressure dynamic control in rocks, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (NASU IGTM), Dnepropetrovsk, Ukraine

Анотація. Вперше в лабораторних умовах використана ідея управління гірським тиском шляхом зміни тиска в гідроциліндрах механізованих кріплень очисного забою за заздалегідь встановленим алгоритмам, яка представлена в патенті України №89965, що дозволило розробити метод моделювання стаціонарного та динамічного навантажень гірської породи в газовому середовищі для визначення зміни її фізико-механічних характеристик. Встановлено, що межа міцності на одноосьове стиснення Кіровоградського граніту збільшується в газовому середовищі на рівень відповідний тиску газу, що припадає на бічну поверхню зразка через відсутність проникності граніту, але після циклічного впливу напруженнями стиснення в газовому середовищі межа міцності наближається до значення відповідного випробуванням на одноосьове стиснення без газонасичення, тобто з'являється газова проникність граніту. Встановлено поліноміальний характер зміни модуля пружності Кіровоградського граніту від швидкості його навантаження.

Ключові слова: граніт, стаціонарне навантаження, динамічне навантаження в газовому середовищі, межа міцності, модуль пружності.

Abstract. It is for the first time when an idea (the Ukrainian patent №89965) of changing, by a predetermined algorithms, pressure in hydraulic cylinders of the mechanized longwall supports was used for controlling the rock pressure. The idea became a basis for designing a new method for modelling stationary and dynamic loads on the rocks in a gaseous medium in order to define changes of the rock physical and mechanical characteristics. It was found that the tensile strength of uniaxial compression of the Kirovohrad granite was increased in the gaseous medium to the level corresponding to the gas pressure on the sample side surface due to the granite weak permeability; however, after the granite being exposed to the cyclic compression in a gaseous environment the tensile strength approached a rate of testing uniaxial compression without gas saturation, i.e. the granite features the gas permeability. It is stated that a polynomial behaviour of the Kirovograd granite elastic modulus changing depends on the speed of the granite mechanical loading.

Keywords: granite, stationary load, dynamic load, tensile strength, modulus of elasticity.

Стаття постуила в редакцію 14.09.2015.

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук С.П. Минеевым