

УДК [622.235.674.3:622.235.112.3](043.3)

### ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЗАРЯДА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАПРАВЛЕННОГО РАСКОЛА

**Я. С. Долударева**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Для получения направленной трещины необходимо по направлению раскола создать растягивающие напряжения, превышающие предел прочности на отрыв. Применение эллиптических шпуров, большая ось которых расположена в плоскости раскола, позволяют создать ориентированное поле напряжений на начальном этапе трещинообразования. Установлено отношение расстояний между шпурами эллиптического и круглого сечений в зависимости от геометрических параметров; оптимальное соотношение размеров полуосей эллиптического сечения; влияние геометрических параметров эллиптического сечения на изменение относительного расстояния между шпурами с учетом механических характеристик раскалываемого камня. Теоретически установлено, что целесообразно использовать шпуры эллиптического поперечного сечения с соотношением его полуосей в пределах от 1,5 до 3.

**Ключевые слова:** поля напряжений, направленный раскол, относительное расстояние между шпурами.

### ВПЛИВ ФОРМИ ЗАРЯДУ НА РОЗПОДІЛ ПОЛІВ НАПРУЖЕНЬ І ЕФЕКТИВНІСТЬ СПРЯМОВАНОГО РОЗКОЛУ

**Я. С. Долударєва**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Для отримання спрямованої тріщини необхідно по напрямку розколу створити розтягуючі напруження, що перевищують межу міцності на відрив. Застосування еліптичних шпурів, велика вісь яких розташована в площині розколу, дозволяє створити орієнтоване поле напружень на початковому етапі тріщиноутворення. Встановлено відношення відстаней між шпурами еліптичного і круглого перерізів залежно від геометричних параметрів; оптимальне співвідношення розмірів півосей еліптичного перерізу; вплив геометричних параметрів еліптичного перерізу на зміну відносної відстані між шпурами з урахуванням механічних характеристик каменя. Теоретично встановлено, що доцільно використовувати шпури еліптичного поперечного перерізу зі співвідношенням його півосей в межах від 1,5 до 3.

**Ключові слова:** поля напруг, спрямований розкол, відносна відстань між шпурами.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Для получения направленной трещины необходимо по направлению раскола создать растягивающие напряжения, превышающие предел прочности на отрыв. Такие напряжения могут создаваться различными типами нагрузок:

- а) статическими, с помощью специальными рабочих органов при медленно изменяющихся усилиях;
- б) квазистатическими, меняющимися настолько медленно, что весь процесс можно представить как совокупность последовательных статических процессов с различными параметрами без учета динамических составляющих;
- в) динамическими, в большинстве случаев сопровождающихся квазистатическими составляющими.

Распределение напряжений вокруг зарядной полости, а, следовательно, прочность откалываемого блока и качество получаемой поверхности зависит от формы заряда;

применения в зарядной полости различных вставок и прокладок, влияющих на направленное воздействие газодинамического потока продуктов детонации;

граничных условий вблизи свободных поверхностей раскалываемых блоков;

наличия концентраторов напряжений, ориентированных в плоскости предполагаемого раскола.

Исаков А.Л. [1] предложил классификацию способов направленного разрушения горных пород, включающую известные в настоящее время принципиальные возможности задания преимущественных направлений разрушения горных пород при взрыве единичного скважинного или шпурового заряда ВВ.

Отделение блоков от массива можно осуществлять различными механическими методами [2–6]:

- с помощью невзрывчатой разрушающей смеси (НРС) [8], которую размещают в шпурах, пробуренных в плоскости предполагаемого раскола;
- направленным расколом горных пород при замораживании жидкости (воды) в шпуре, например, с помощью жидкого азота [8].

Вышеперечисленные методы добычи блочного камня обладают существенными преимуществами – сохранность камня при добыче и сравнительная безопасность. Но существует и ряд недостатков: низкая производительность, ограничение по прочностным свойствам пород и климатическим условиям. Эти проблемы могут быть решены при использовании буровзрывного метода. Однако большой объем буровых работ, а также значительные потери сырья

вследствие разупрочнения породы сдерживают его широкое применение.

Целью работы является создание ориентированного поля напряжений на начальном этапе трещинообразования, установление влияния соотношения полуосей эллиптического сечения на относительное расстояние между шпурами.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Создать ориентированное поле напряжений на начальном этапе трещинообразования позволяет применение эллиптических шпуров, большая ось которых расположена в плоскости раскола.

Для создания статических напряжений вокруг шпура и оценки их влияния на эффективность направленного раскола рассмотрено напряженное состояние, возникающее за счет температурного эффекта. Тепловые напряжения в породе обусловлены изменением температуры рабочей среды, которой заполняют шпур или скважину. Анализ практического опыта некоторых предприятий по добыче блочного камня показывает, что при использовании энергии взрыва для направленного раскола, расстояние между шпурами находится в пределах от трех до 10-ти диаметров заряда. Таким образом, полученные результаты могут быть использованы для дальнейших разработок и исследований метода безвзрывного направленного разрушения горных пород.

Использование скважин или зарядов эллиптической формы и расположение их таким образом, что большая ось эллипса параллельна плоскости откалываемой части блока, позволит увеличить напряжения, а соответственно, и расстояния между шпурами (скважинами) в 1,2–1,4 раза (рис. 1) по сравнению со шпурами круглого поперечного сечения [9].

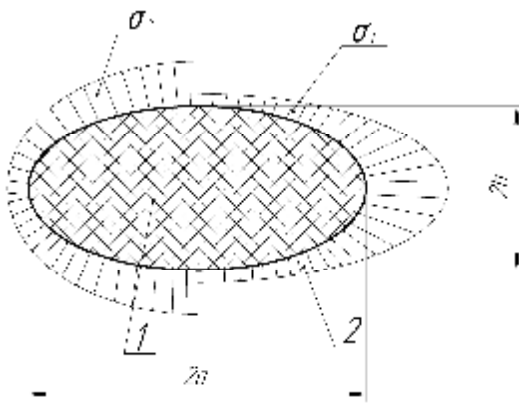


Рисунок 1 – Распределение напряжений в шпурах (скважинах) эллиптического поперечного сечения: 1 – рабочий орган (среда), создающий статические напряжения, 2 – эпюры напряжений;  $a$  – большая полуось эллипса;  $b$  – малая полуось эллипса;  $\sigma_1$  – напряжения растяжения;  $\sigma_2$  – напряжения сжатия

Расстояния между шпурами эллиптического сечения могут быть определены из соотношения

$$L_{\text{э}} = \frac{d_{\text{э}}}{d_{\text{к}}} L \sqrt{1 + m_{\text{э}}^2}, \quad (1)$$

где  $L_{\text{э}}$  – расстояние между шпурами эллиптического сечения, м;  $d_{\text{э}}$  – сумма полуосей эллиптического сечения заряда ( $d_{\text{э}} = a + b$ ), м;  $a$  и  $b$  – большая и малая полуоси эллипса соответственно, м;  $d_{\text{к}}$  – диаметр круглого сечения скважины, равной по вместимости скважине эллиптического поперечного сечения, м;  $L$  – расстояние между шпурами круглого сечения, м;  $m_{\text{э}} = \frac{a-b}{a+b}$  – коэффициент, характеризующий форму поперечного сечения шпура.

Из уравнения (1) находим относительное расстояние между шпурами эллиптической формы, которое обеспечивает раскол материала:

$$L_{\text{ОТН}}^{\text{э}} = \frac{L_{\text{э}}}{d_{\text{э}}} = \frac{L \sqrt{1 + m_{\text{э}}^2}}{d_{\text{к}}}. \quad (2)$$

Относительное расстояние между шпурами эллиптического сечения с учетом [9] можно определить как

$$L_{\text{ОТН}}^{\text{э}} = \sqrt{\frac{2(\sqrt{1 + b \cdot D_t} - 1) \cdot (1 + m_{\text{э}}^2)}{s p \left( \frac{1}{E_1} (1 - m_1) + \frac{1}{E_2} (1 - m_2) \right)}}. \quad (3)$$

Таким образом, при создании статических напряжений вокруг шпуров эллиптической формы расстояние между ними может быть увеличено в  $n$  раз по сравнению со шпурами круглого сечения:

$$n = \frac{L_{\text{э}}}{L} = \frac{d_{\text{э}}}{d_{\text{к}}} \sqrt{1 + m_{\text{э}}^2}. \quad (4)$$

Определим расстояния между шпурами круглого и эллиптического сечений в зависимости от соотношений размеров полуосей эллипса. Для этого воспользуемся условием равенства по вместимости шпуров круглого и эллиптического сечений. С учетом этого выражение (4) примет вид

$$\frac{L_{\text{э}}}{L} = \frac{a+b}{2\sqrt{ab}} \sqrt{1 + \left( \frac{a-b}{a+b} \right)^2}. \quad (5)$$

Отношения расстояний между шпурами эллиптического и круглого сечений в зависимости от геометрических параметров характеризуются приведенным графиком на рис. 2.

Влияние геометрических параметров эллиптического сечения на изменение относительного расстояния между шпурами с учетом механических характеристик раскалываемого камня приведено на рис. 3.

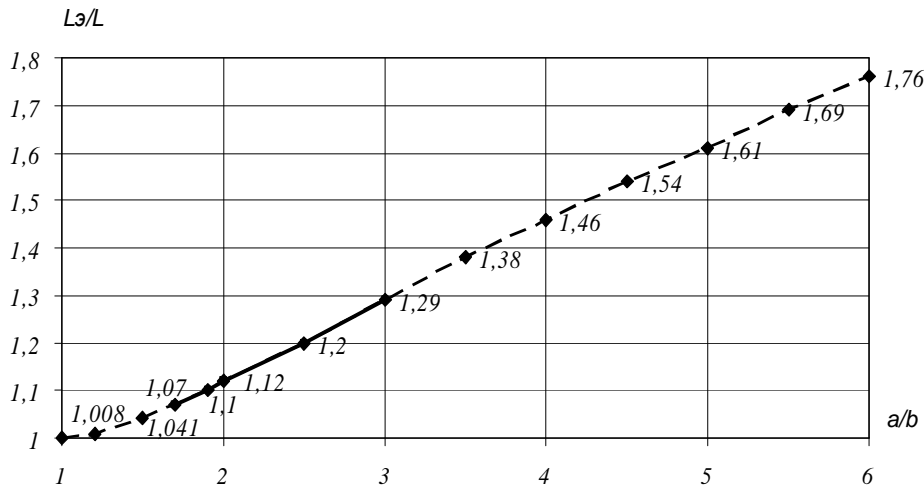


Рисунок 2 – Влияние соотношений размеров полуосей эллиптического сечения на отношение расстояний между шпурами

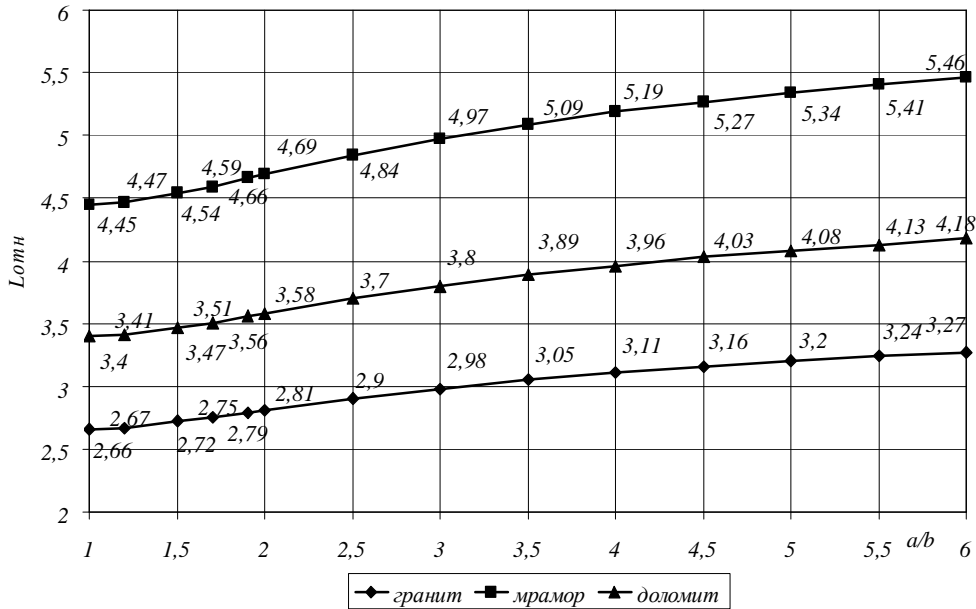


Рисунок 3 – Влияние соотношения полуосей эллиптического сечения на относительное расстояние между шпурами

Аналізуючи графіки, приведені на рис. 2 і 3, встановлюємо, що цілесообразно використовувати шпури еліптичного поперечного сечення з соотношением его полуосей в пределах от 1,5 до 3 (с учетом критического диаметра, диаметра детонации ВВ). При використанні взрывного динамического воздействия на породу расстояние между шпурами можно определить, используя зависимость  $L_{взр} = L_3 \cdot K_D$ , где  $K_D$  – коэффициент динамичности.

**ВЫВОДЫ.** Таким образом, применение шпуров эллиптического поперечного сечения, большая ось которого расположена в плоскости раскола, позволяет создать ориентированное поле напряжений на начальном этапе трещинообразования. Теоретически установлено, что целесообразно использовать

шпуры эллиптического поперечного сечения с соотношением его полуосей в пределах от 1,5 до 3. В таких шпурах нагрузка, необходимая для распространения трещины, меньше по сравнению с нагрузкой, создаваемой шпурами круглого поперечного сечения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исаков А.Л. О направленном разрушении горных пород взрывом // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1983. – № 6. – С. 41–52.
2. Буровзрывные работы на открытых и подземных рарзботках / В.Ф. Носков, В.И. Комашенко, Н.И. Жабин. – М.: Недра. – 1982. – 316 с.

3. Пат. 2163295 РФ, МПК<sup>7</sup> E21 C037/18. Способ электрогидравлического разрушения твердых тел / Е.Г. Крастелев, В.Н. Нистратов, В.П. Смирнов (Россия). – № 99106811/03.

4. Берсенева Г.Л. Управление качеством взрывного дробления горных пород на нерудных карьерах // Изв. вузов. Горн. журнал. – 1999. – № 7–8. – С. 61–68.

5. Кратковский И.Л. Совершенствование технологии добычи облицовочного камня с использованием энергии взрыва // Збірник «Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва». – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 1/2009(3). – С. 40–46.

6. Кратковский И.Л. Прогнозная оценка месторождений интрузивных пород, перспективных для добычи блочного камня // Науковий вісник Націо-

нального гірничого університету. – 2010. – № 5. – С. 18–23.

7. Пат. 2029865 РФ, МПК<sup>6</sup> E21 C037/18. Устройство для нагрева невзрывчатой разрушающей смеси в шпурах, пробуренных в плоскости предполагаемого раскола монолита / В.Г. Ровенский, И.С. Ровенская (Россия). – № 5007258.

8. Литвиненко Я.С. О возможности использования эффекта низкотемпературного расширения жидкости при направленном расколе // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды Кременчугского государственного политехнического института. – 1999. – Вып. 2/1999(7). – С. 449.

9. О механизме разрушения горных пород под действием взрыва и управление им / М.Ф. Друкованый, В.М. Комир // Сборник «Взрывное дело». – М.: Недра, 1965. – № 57/14. – С. 112–117.

### THE INFLUENCE OF CHARGE ON THE DISTRIBUTION OF THE FIELDS OF STRESS AND EFFICIENCY OF DIRECTED SPLIT

Ya. Doludareva

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

To obtain aimed cracks should be in the direction of split to create a tensile stresses, which exceed the tensile strength of the pull. The application of elliptic hole, large axis of which is located in the split plane, you can create oriented stress field at the initial stage fracturing. Set the ratio of the distances between the hole elliptical and circular cross-sections depending on the geometrical parameters; optimum ratios sizes half of elliptic cross-section; the influence of geometrical parameters of elliptic cross-section on the change of the relative distance between the hole with a view of the mechanical characteristics of the stone. Theoretically determined that it is advisable to use the hole elliptic cross-section ratio with his half-axes in the range from 1,5 to 3.

**Key words:** stress fields, directed split, the relative distance between the hole.

#### REFERENCES

1. Isakov A.L. About the directed destruction of rocks by explosion // *Physical and technical problems of mineral development*. – 1983. – № 6. – PP. 41–52. [in Russian]

2. *Drilling and blasting in open and underground minig* / V.F. Noskov, V.I. Komachenko, N.I. Zhabin. – М.: Nedra. – 1982. – 316 p. [in Russian]

3. Пат. 2163295 of the Russian Federation, EDE7 E21 C037/18. The method of electro-hydraulic fracturing of solids / E.G. Krastelev, V.N. Nistratov, V.P. Smirnov. – № 99106811/03. [in Russian]

4. Bersenev G.L. Quality management of explosive crushing of rocks on nonmetallic open-cast mines // *High schools news. Mining Journal*. – 1999. – № 7–8. – PP. 61–68. [in Russian]

5. Kratkovsky I.L. Improving of technology of development of a facing stone with use of energy of explosion // *Modern resource- and energy-saving technologies in mining industry* – Kremenchuk: KSPU, 2009. – Iss. 1/2009 (3). – PP. 40–46. [in Russian]

6. Kratkovsky I.L. Forecast estimation of intrusive rocks deposits, which are potential for block stone de-

velopment // *Transactions of National Mining University*. – 2010. – № 5. – PP. 18–23. [in Ukrainian]

7. Пат. 2029865 of the Russian Federation, МПК<sup>6</sup> E21 C037/18. A device for heating of non-explosive destroying mixture in holes drilled in the plane of the monolith split expected / V.G. Rovenskiy, I.S. Rovenskaya. – № 5007258. [in Russian]

8. Litvinenko Ya.S. On the possibility of use of low-temperature expansion of liquid at the directed split // *Transactions of Kremenchuk State Polytechnic Institute*. – 1999. – Iss. 2/1999(7). – P. 449. [in Ukrainian]

9. On the mechanism of destruction of rocks by explosion effects and management / M.F. Drukovan, V.M. Komir // *Blasting work. Collected works*. – М.: Nedra, 1965. – № 57/14. – PP. 112–117. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 30.10.2012.

Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Воробйов В.В.