Оригинальная статья

УДК 622.2:658.012.122:51.001.57

Идентификация управляющего параметра при определении устойчивых формы и размеров поперечного сечения горной выработки

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-3-81-83

КУЗИН Е.А.

Начальник Управления по контролю и надзору за объектами метрополитена Комитета государственного строительного надзора города Москвы, 121059, Москва, Россия, e-mail: eakuzin@mail.ru

С целью управления устойчивостью горных выработок путем определения оптимальных форм и размеров поперечного сечения разработана математическая модель. На ее основе идентифицирован управляющий параметр. Существующие горные выработки имеют две предельные формы поперечного сечения – прямоугольную и круглую. В углах выработки прямоугольной формы имеются дополнительные концентраторы напряжений в горных породах. Периметр площади поперечного сечения горной выработки круглой формы определяется однозначно одним линейным размерам – высотой. Периметр площади же поперечного сечения горной выработки прямоугольной формы определяется неоднозначно двумя линейными размерами: высотой и шириной. С точки зрения устойчивости, чем меньше периметр площади поперечного сечения, тем устойчивее горная выработка. Построенная математическая модель позволила определить условия, при которых обеспечивается минимум периметра – это форма квадрата; управляющим параметром круглых и квадратных поперечных сечений является высота горных выработок.

Ключевые слова: *форма горной выработки, устойчивость горной выработки, размеры горной выработки, математическая модель, управляющий параметр, высота горной выработки, поперечное сечение горной выработки, концентраторы напряжений.*

Для цитирования: Кузин Е.А. Идентификация управляющего параметра при определении устойчивых формы и размеров поперечного сечения горной выработки // Уголь. 2022. № 3. С. 81-83. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-81-83.

ВВЕДЕНИЕ

Подавляющее большинство существующих математических моделей относится к отдельным элементам горных выработок – в основном к целикам и обнажению горных пород. Этим самым подменяются задачи устойчивости горных выработок задачами устойчивости целиков и обнажений. Решение последних сводится к определению устойчивых размеров целиков и обнажений пород по отдельности. Принципы, заложенные в основу этих расчетов, опираются на существующие определения устойчивости горных выработок. Очевидно, что эти определения не только не общие, но не являются конструктивными. При таком подходе определяемые устойчивые размеры целиков и обнажений пород носят недопустимо приближенный характер, так как основаны на соотношении между напряжением в породном массиве и деформационно-прочностными свойствами горных пород, которые определяются в существующих работах с точностью до нескольких десятков процентов [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Поэтому целесообразно управлять устойчивостью горных выработок путем определения оптимальных пространственно-геометрических параметров в виде формы и размеров поперечного сечения и на их основе идентифицировать управляющий параметр.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Существующие формы поперечного сечения горных выработок могут быть разделены по признаку напряженно-деформированного состояния: это формы, имеющие и не имеющие углы. Предельными в этом смысле целесообразно считать прямоугольную и круглую формы. Так, в прямоугольной форме имеются дополнительные концентраторы напряжений в горных породах, окружающих горную выработку, в углах, в то время как в круглой их нет. В окружающих угол горных породах образуются локальные разрушения, распространение которых приводит к преждевременной потере устойчивости. Но при этом здесь необходимо, наряду с этим недостатком, обратить внимание на преимущество прямоугольной формы – это более полное использование поперечного сечения по сравнению с любыми другими формами.

Основным параметром горной выработки для технологов до сих пор является площадь поперечного сечения, которая определяется по правилу безопасности и исходя из основных размеров транспортного и технологического оборудования. Таким образом, при таком подходе площадь поперечного сечения горной выработки играет роль управляющего параметра.

Периметр площади поперечного сечения горной выработки круглой формы определяется однозначно одним линейным размером – высотой. Периметр площади же поперечного сечения горной выработки прямоугольной формы определяется неоднозначно двумя линейными размерами – высотой и шириной. В зависимости от соотношения высоты и ширины будем получать различные периметры.

С точки зрения устойчивости, чем меньше периметр площади поперечного сечения, тем устойчивее горная выработка. Таким образом, для обеспечения более устойчивого состояния при фиксированном сечении горной выработки прямоугольной формы необходимо решить задачу по определению минимума периметра.

Следуя общей схеме разработки математических моделей, построим содержательную модель. Сечение горной выработки имеет характерные размеры, соизмеримые с размерами элементарного объема, основные положения которого при определении деформационных свойств изложены в работах [7, 8, 9, 10]. Оптимальные форма целика и размеры обнажений определены в работах [11, 12]. С учетом этого рассмотрим следующую математическую модель. Пусть прямоугольник, имеющий площадь S (м²), соответствует поперечному сечению горной выработки. Сторону прямоугольника, соответствующую контуру горной выработки у основания, обозначим *x*, и будем считать ее аргументом. Очевидно, что *x* изменяется от 0 до $+\infty$, то есть может принимать значения из интервала $(0, +\infty)$. Обозначим h сторону прямоугольника, соответствующего высоте горной выработки. Выразим периметр прямоугольника Π как функцию от x. В результате имеем:

$$\Pi = 2x + \frac{2s}{x} = f(x), \qquad (1)$$

в интервале $(0, +\infty)$. Если теперь найдем наименьшее значение этой функции, то этим самым определим, какую форму должно иметь поперечное сечение горной выработки, чтобы обеспечить максимум устойчивости при прочих равных условиях.

Для нахождения наименьшего значения функции $\Pi = f(x)$ найдем производную и приравняем ее к нулю:

$$\frac{d\Pi}{dx} = 2 - \frac{2s}{x^2} = 0, \qquad (2)$$

или

$$x^2 - s = 0. \qquad (3)$$

Решая последнее уравнение, получаем:

$$x = \sqrt{s} = \pm a. \qquad (4)$$

Из найденных значений *x* в интервале $(0, +\infty)$ лежит только $x = a$. Замечая же, что на концах интервала $(0, +\infty)$ функция равна $+\infty$, а внутри конечна, мы убеждаемся, что при $x = a$ она будет достигать своего наименьшего значения. Следовательно, наиболее выгодной в смысле устойчивости оказывается квадратное сечение горных выработок со сторонами, равными a ($a^2 = s$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая, что закругление углов приводит к уменьшению концентрации напряжений в горных породах, окружающих горную выработку, приходим к следующему выводу: квадратное и круглое поперечное сечение горных выработок в смысле устойчивости окажутся почти равносильными. А это в свою очередь указывает на то, что число управляющих параметров этих поперечные сечения также будет одним и тем же – равным единице, то есть высоте горных выработок.

Список литературы

1. Kahraman B. Numerical analysis of underground space and pillar design in metalliferous mine / T. Malli, M.E. Yetkin, M.K. Ozfirat et al. // Journal of African Earth Sciences. 2017. Vol. 134. P. 365-372.
2. Rafiei Renani H., Martin C.D. Modeling the progressive failure of hard rock pillars // Tunnelling and Underground Space Technology. 2018. Vol. 74. P. 71-81.
3. Deliveris A.V., Benardos A. Evaluating performance of lignite pillars with 2D approximation techniques and 3D numerical analyses // International Journal of Mining Science and Technology. 2017. Vol. 27. P. 929-936.
4. Mark C., Agioutantis Z. Analysis of coal pillar stability (ACPS): A new generation of pillar design software // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. Vol. 29. P. 87-91.
5. Frith R., Reed G. Coal pillar design when considered a reinforcement problem rather than a suspension problem // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. Vol. 28. P.11-19.
6. Тюпин В.Н. Установление динамически устойчивых размеров обнажений трещиноватого напряженного горного мас-

сива при камерных вариантах систем разработки // Вестник Забайкальского государственного университета. 2016. Т. 22. № 6. С. 31-39.
7. Халкечев Р.К., Халкечев К.В. Математическое моделирование неоднородного упругого поля напряжений породного массива кристаллической блочной структуры // Горный журнал. 2016. № 3. С. 200-205.
8. Халкечев Р.К., Халкечев К.В. Управление селективностью разрушения при дроблении и измельчении геоматериалов на основе методов подобия и размерности в динамике трещин // Горный журнал. 2016. № 6. С. 64-66.
9. Халкечев К.В. Системный подход к разработке математического обеспечения ГИС лавинного районирования по напряженно-деформированному состоянию снега на склонах горных территорий // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. № 1 (43). С. 88-93.
10. Халкечев К.В. Нелинейная математическая модель динамической системы трещиноватости в минералах углевмещающих горных пород // Уголь. 2019. № 10. С. 92-94. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-10-92-94.
11. Кузин Е.А., Халкечев К.В. Математическая модель определения формы устойчивого целика поликристаллической структуры в углевмещающих породах // Уголь. 2020. № 2. С. 22-25. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-22-25.
12. Кузин Е.А., Халкечев К.В. Определение управляющих пространственно-геометрических параметров устойчивых горных выработок // Уголь.2020. № 9. С. 65-67. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-65-67.

MINING WORKS

Original Paper

UDC 622.2:658.012.122:51.001.57 © E.A. Kuzin, 2022
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 3, pp. 81-83
DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-3-81-83

Title

IDENTIFICATION OF THE CONTROL PARAMETER IN DETERMINING THE STABLE SHAPE AND DIMENSIONS OF THE MINE CROSS-SECTION

Author
Kuzin E.A.[1]
[1] Committee of state construction supervision of Moscow, Moscow, 121059, Russian Federation

Authors Information
Kuzin E.A., Head of the Administration for control and supervision of metro, e-mail: eakuzin@mail.ru.

Abstract
In order to control the stability of mines by determining the optimal shape and size of the cross-section, a mathematical model has been developed. On its basis, a control parameter is identified. Existing mines have two limiting cross-sectional shapes – rectangular and round. There are additional stress concentrators in rocks inside the corners of a mine that has a rectangular shape. The perimeter of the cross-sectional area of a mine, that has a round shape, is uniquely determined by one linear dimension – the height. In turn, for a mine that has a rectangular shape, the perimeter of the cross-sectional area is determined ambiguously by two linear dimensions: height and width. In terms of stability, the smaller a perimeter of the cross-sectional area, the more stable a mine. The constructed mathematical model made it possible to: 1) determine the conditions under which the minimum perimeter is ensured – this is a square shape; 2) the control parameter of round and square cross-sections is the height of mines.

Keywords
Mine shape, Mine stability, Mine size, Mathematical model, Control parameter, Mine height, Mine cross-section, Stress concentrators.

References

1. Malli T., Yetkin M.E., Ozfirat M.K., Kahraman B. Numerical analysis of underground space and pillar design in metalliferous mine. *Journal of African Earth Sciences,* 2017, (134), pp. 365-372.
2. Rafiei Renani H. & Martin C.D. Modeling the progressive failure of hard rock pillars. *Tunnelling and Underground Space Technology,* 2018, (74), pp. 71-81.
3. Deliveris A.V. & Benardos A. Evaluating performance of lignite pillars with 2D approximation techniques and 3D numerical analyses. *International Journal of Mining Science and Technology,* 2017, (27). pp. 929-936.
4. Mark C. & Agioutantis Z. Analysis of coal pillar stability (ACPS): A new generation of pillar design software. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2019, (29), pp. 87-91.
5. Frith R. & Reed G. Coal pillar design when considered a reinforcement problem rather than a suspension problem. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2018, (28), pp. 11-19.
6. Tyupin V.N. Identification of dynamically stable dimensions of fractured stressed rock outcrops in room-and-pillar mining systems.*Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta,* 2016, (22), pp. 31-39. (In Russ.).
7. Khalkechev R.K. & Khalkechev K.V. Mathematical modeling of non-uniform elastic stress field of a rock mass with crystalline block structure. *Gornyj zhurnal*, 2016, (3), pp. 200-205. (In Russ.).
8. Khalkechev R.K. & Khalkechev K.V. Management of fracture selectivity in crushing and milling of geomaterials based on similarity and dimensional methods in fracture dynamics. *Gornyj zhurnal*, 2016, (6), pp. 64-66. (In Russ.).
9. Khalkechev K.V. A system approach to development of mathematical support for GIS avalanche zoning based on the stress-and-strain state of snow on the slopes of mountainous areas. *Ustojchivoe razvitie gornyh territorij*, 2020, (12), pp. 88-93. (In Russ.).
10. Khalkechev K.V. A non-linear mathematical model of fracturing dynamic system in minerals of coal-bearing rocks. *Ugol'*, 2019, (10), pp. 92-94. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-10-92-94.
11. Kuzin E.A. & Khalkechev K.V. Mathematical model to define a stable shape of a polycrystalline pillar in coal-bearing rocks. *Ugol'*, 2020, (2), pp. 22-25. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-22-25.
12. Kuzin E.A. & Khalkechev K.V. Determination of governing spatial and geometric parameters of stable mine workings. *Ugol'*, 2020, (9), pp. 65-67. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-65-67.

For citation
Kuzin E.A. Identification of the control parameter in determining the stable shape and dimensions of the mine cross-section. *Ugol',* 2022, (3), pp. 81-83. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-81-83.

Paper info
Received February 1, 2022
Reviewed February 10, 2022
Accepted February 21, 2022