

# Математическое обеспечение информационной системы анализа процесса разрушения трещиноватой кровли на угольных месторождениях

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-64-66>

## ХАЛКЕЧЕВ Р.К.

Доктор техн. наук, профессор кафедры  
инфокоммуникационных технологий  
НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: syrus@list.ru

## ХАЛКЕЧЕВ К.В.

Доктор физ.-мат. наук,  
доктор техн. наук,  
профессор кафедры геологии и  
маркшейдерского дела НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: h\_ketal@mail.ru

## ЛЕВКИН Ю.М.

Доктор техн. наук,  
профессор Московского  
политехнического университета,  
член Союза маркшейдеров России,  
105064, г. Москва, Россия,  
e-mail: lev5353@bk.ru

## КУЗЬМЕНКО С.Ю.

Канд. техн. наук, преподаватель  
Университетского колледжа  
информационных технологий  
Московского государственного  
университета технологий  
и управления имени К.Г. Разумовского  
(Первый казачий университет),  
109004, г. Москва, Россия,  
e-mail: svetik-semicvetik3@yandex.ru

С целью разработки математического обеспечения информационной системы анализа процесса разрушения трещиноватой кровли на угольных месторождениях построена математическая модель. К основным особенностям данной модели необходимо отнести следующее. Одна из них говорит об адекватности модели, в которой учитывается взаимодействие трещин между собой. Вторая особенность связана с полученным результатом в виде управляющего параметра, что позволяет считать математическую модель математическим обеспечением информационной системы. Из анализа экспериментов сделаны следующие выводы: распространение трещин в геоматериалах обусловлено взаимодействием вершины трещины с ансамблем движущихся микродефектов под действием внешних нагрузок; управляющими параметрами являются длина и скорость распространения трещины, скорость и расстояние между движущимися микродефектами. Применяя метод размерностей, получен безразмерный управляющий параметр. Значения данного параметра определяют процессы устойчивого и неустойчивого распространения системы трещин.

**Ключевые слова:** математическая модель, информационная система, управляющие параметры, распространение трещин, устойчивость, угольное месторождение, кровля, метод размерностей, микродефекты.

**Для цитирования:** Математическое обеспечение информационной системы анализа процесса разрушения трещиноватой кровли на угольных месторождениях / Р.К. Халкечев, К.В. Халкечев, Ю.М. Левкин и др. // Уголь. 2023. № 12. С. 64-66. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-64-66.

## ВВЕДЕНИЕ

На угольных месторождениях, большинство которых относятся к пластовым, наибольшее распространение получили камерные системы разработки. При этом лимитирующим элементом, состояние которого предопределяет состояние всех остальных элементов системы разработки, часто является кровля выработок. Это обусловлено тем, что именно в кровле начинается процесс разрушения, поскольку именно здесь в первую очередь возможно образование областей растягивающих напряжений, в которых идет образование новых и распространение существующих трещин.

Образование новых трещин тесно связано с напряженно-деформированными состояниями различных элементов системы разработок, ис-

следованию которых посвящен ряд работ; в них получены заметные результаты [1, 2, 3, 4]. Что же касается роста трещин, то распространению одиночных посвящены работы, которые стали классическими [5]. В то время как рост ансамбля трещин, который наблюдается в кровле, как показывает опыт, не может быть исследован в достаточной мере экспериментальными и натурными методами [6, 7, 8].

Единственно возможным вариантом является математическое моделирование, позволяющее определить процесс разрушения трещиноватой кровли на угольных месторождениях, что, в свою очередь, будет играть роль математического обеспечения соответствующей информационной системы.

подавляющее большинство существующих математических моделей в данном направлении не учитывают взаимное влияние трещин при их распространении [9, 10, 11, 12]. И все без исключения математические модели не могут служить математическим обеспечением, поскольку в результате не получены управляющие параметры процесса разрушения трещиноватой кровли.

### ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Построим содержательную модель, на основе которой представится возможность разработки математической модели распространения трещин в области растягивающих напряжений в кровле, определяющей процесс разрушения.

Из экспериментальных фактов можно сделать следующие уточняющие выводы, которые необходимы при построении математической модели: распространение трещин в геоматериалах обусловлено взаимодействием вершины трещины с ансамблем микродефектов, каждый из которых находится в движении под действием внешних нагрузок; параметрами, однозначно характеризующими данную систему, являются длина и скорость распространения трещины, скорость и расстояние между движущимися микродефектами; под действием возрастающих внешних нагрузок происходит дрейф микродефектов к вершине трещины.

В рамках вышеприведенных рассуждений о содержательной модели построим математическую модель. Из трещиноватой области выделим трещины, пересекающиеся и не пересекающиеся между собой. Очевидно, что моделирование первых приводит к тривиальным результатам. Поэтому имеет смысл рассмотреть растущие трещины, близкие к параллельным, которые не могут пересечься внутри рассматриваемой области. Не теряя общности, выберем две такие трещины, которые размещены в одном и том же геоматериале кровли. Причем эти трещины макроскопических размеров. Применим метод размерностей.

Пусть  $l_1$  и  $l_2$  – первоначальная длина первой и второй трещины соответственно;  $s_1$  и  $s_2$  – расстояние между движущимися микродефектами в направлении кончика первой и второй трещин соответственно;  $V_1$  и  $V_2$  – скорость распространения первой и второй трещины соответственно;  $v_1$  и  $v_2$  – скорость движения микродефектов к первой и второй трещинам.

Из экспериментальных данных, приведенных выше, и согласно выбранной модели очевидно, что в качестве определяющих параметров для каждой трещины можно взять следующую систему соответственно:

$$(l_1, V_1, v_1, s_1); (l_2, V_2, v_2, s_2). \quad (1)$$

Численные значения всех остальных величин определяются полностью значениями этих параметров. Следовательно, можно записать:

$$k_1 = k_1(l_1, V_1, v_1, s_1); k_2 = k_2(l_2, V_2, v_2, s_2). \quad (2)$$

Численные значения функции  $k$  не должны зависеть от системы единиц измерения. Из четырех определяющих параметров (1) можно образовать только одну независимую безразмерную комбинацию для каждой трещины:

$$k_1 = \frac{l_1 v_1}{V_1 s_1}; k_2 = \frac{l_2 v_2}{V_2 s_2}. \quad (3)$$

Все безразмерные величины, зависящие от указанных четырех параметров, являются функциями числа  $k_1$  и  $k_2$  соответственно. При малых значениях чисел  $k_1 < 1$  и  $k_2 < 1$  распространение обеих трещин устойчиво, а для значений  $k_1 \geq 1$  и  $k_2 \geq 1$  – неустойчиво. Таким образом, например, при  $k_1 > k_2$  и  $k_1 < 1, k_2 < 1$  трещины распространяются устойчиво; причем первая из них стремится к своему неустойчивому состоянию быстрее, чем вторая. При этом вторая трещина под влиянием первой приостанавливает свое распространение.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана математическая модель распространения трещин с учетом взаимного влияния в области растягивающих напряжений в кровле. Поскольку в результате получен управляющий параметр, однозначно характеризующий устойчивое и неустойчивое распространение трещин, а значит, и процесс разрушения кровли, то разработанная математическая модель может служить основой математического обеспечения информационной системы анализа процесса разрушения трещиноватой кровли на угольных месторождениях.

### Список литературы

1. Халкечев К.В., Халкечев Р.К., Левкин Ю.М. Математическая модель поля напряжений в целиках с учетом магистральной трещины на угольных месторождениях // Уголь. 2023. № 7. С. 56-58. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-7-56-58.
2. Халкечев Р.К., Левкин Ю.М., Халкечев К.В. Разработка математической модели поля напряжений в целиках слоистой текстуры на угольных месторождениях // Уголь. 2023. № 8. С. 84-86. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-84-86.
3. Халкечев Р.К., Халкечев К.В. Математическое моделирование неоднородного упругого поля напряжений породного массива кристаллической блочной структуры // Горный журнал. 2016. № 3. С. 200-205. DOI: 10.17580/gzh.2016.03.05.
4. Халкечев Р.К. Применение теории мультифрактального моделирования процессов деформирования и разрушения породных массивов с целью краткосрочного прогнозирования внезапных выбросов угля и газа // Уголь. 2019. № 7. С. 48-50. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-7-48-50.
5. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М: Наука, 1974. 640 с.
6. Wiens T., Islam M.S. Using acoustic impacts and machine learning for safety classification of mine roofs // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2021. Vol. 147. Article 104912. DOI: 10.1016/j.ijrmmms.2021.104912.

7. Asymmetrical distribution of roof microseismicity and its application to roof control of a deep longwall panel / Z. Wang, W. Sun, S. Yang et al. // *Journal of Applied Geophysics*. 2023. Vol. 215. Article 105142. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2023.105142.
8. Левкин Ю.М. Использование технологии дистанционного зондирования и математического моделирования для анализа аварийных горных выработок // *Уголь*. 2022. № 6. С. 32-34. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-6-32-34.
9. Abousleiman R., Walton G., Sinha S. Understanding roof deformation mechanics and parametric sensitivities of coal mine entries using the discrete element method // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 30. P. 123-129. DOI: 10.1016/j.ijmst.2019.12.006.
10. Eremin M., Esterhuizen G., Smolin I. Numerical simulation of roof cavings in several Kuzbass mines using finite-difference continuum damage mechanics approach // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 30. P. 157-166. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.01.006.
11. Stress distribution of mine roof with the boundary element method / R. Wu, J.H. Xu, C. Li et al. // *Engineering Analysis with Boundary Elements*. 2015. Vol. 50. P. 39-46. DOI: 10.1016/j.enganabound.2014.07.009.
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.

Original Paper

UDC 622.272:658.012.122:51.001.57 © R.K. Khalkechev, K.V. Khalkechev, Yu.M. Levkin, S.Yu. Kuzmenko, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 64-66  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-64-66>

**Title**  
**MATHEMATICAL SUPPORT OF THE INFORMATION SYSTEM FOR ANALYZING THE PROCESS OF FRACTURED ROOF DESTRUCTION IN COAL FIELDS**

#### Authors

Khalkechev R.K.<sup>1</sup>, Khalkechev K.V.<sup>1</sup>, Levkin Yu.M.<sup>2</sup>, Kuzmenko S.Yu.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, 105064, Russian Federation

<sup>3</sup> K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), Moscow, 109004, Russian Federation

#### Authors Information

**Khalkechev R.K.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor at Subdepartment of Infocommunication technologies, e-mail: [syrus@list.ru](mailto:syrus@list.ru)

**Khalkechev K.V.**, Doctor of Physico-Mathematical Science, Doctor of Engineering Sciences, Professor at Subdepartment of Geology and Mine Surveying, e-mail: [h\\_kemal@mail.ru](mailto:h_kemal@mail.ru)

**Levkin Yu.M.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Member of the Russian Union of Surveyors, e-mail: [lev5353@bk.ru](mailto:lev5353@bk.ru)

**Kuzmenko S.Yu.**, PhD (Engineering), Teacher of University College of Information Technology, e-mail: [svetik-semicvetik3@yandex.ru](mailto:svetik-semicvetik3@yandex.ru)

#### Abstract

In order to develop mathematical support of information system for analyzing the process of fractured roof destruction in coal deposits, a mathematical model has been built. The main features of this model include the following. One of them points to the adequacy of the model, which takes into account the interaction of cracks with each other. The second feature is related to the result obtained in the form of a control parameter, which makes it possible to consider the mathematical model as the mathematical support of the information system. The following conclusions are drawn from the analysis of experiments: the crack propagation in geomaterials is caused by the interaction of the crack tip with an ensemble of moving microdefects under the influence of external loads; control parameters are the length and speed of crack propagation, the speed and distance between moving microdefects. Using the dimensional method, a nondimensional control parameter is obtained. Values of this parameter determine the processes of stable and unstable propagation of the crack system.

#### Keywords

Mathematical model, Information system, Control parameters, Crack propagation, Stability, Coal deposit, Mine roof, Dimensional method, Microdefects.

#### References

1. Khalkechev R.K., Khalkechev K.V. & Levkin Yu.M. Mathematical model of the stress field in the pillars with due account taken of the main crack in coal fields. *Ugol'*, 2023, (7), pp. 56-58. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-7-56-58.
- 2., Levkin Yu.M. & Khalkechev K.V. Mathematical model development of the stress field in the pillars stratified texture in coal deposits. *Ugol'*, 2023, (8), pp. 84-86. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-84-86.
3. Khalkechev R.K. & Khalkechev K.V. Mathematical modeling of non-uniform elastic stress field of a rock mass with crystalline block structure. *Gornyzhur-nal*, 2016, (3), pp. 200-205. (In Russ.). DOI: 10.17580/gzh.2016.03.05.

4. Khalkechev R.K. Multifractal modeling theory application of rock mass deformation and destruction processes with the aim of short-term forecasting sudden coal and gas outbursts. *Ugol'*, 2019, (7), pp. 48-50. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-7-56-58.

5. Cherepanov G.P. Mechanics of brittle fracture. Moscow, Nauka Publ., 1974, 640 p. (In Russ.).

6. Wiens T. & Islam M.S. Using acoustic impacts and machine learning for safety classification of mine roofs. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2021, (147), 104912. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2021.104912.

7. Wang Z., Sun W., Yang S., Tang Y. & Liu P. Asymmetrical distribution of roof microseismicity and its application to roof control of a deep longwall panel. *Journal of Applied Geophysics*, 2023, (215), 105142. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2023.105142.

8. Levkin Yu.M. The usage of remote sensing technology and mathematical modeling for the analysis of emergency mine workings. *Ugol'*, 2022, (6), pp. 32-34. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-6-32-34.

9. Abousleiman R., Walton G. & Sinha S. Understanding roof deformation mechanics and parametric sensitivities of coal mine entries using the discrete element method. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2020, (30), pp. 123-129. DOI: 10.1016/j.ijmst.2019.12.006.

10. Eremin M., Esterhuizen G. & Smolin I. Numerical simulation of roof cavings in several Kuzbass mines using finite-difference continuum damage mechanics approach. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2020, (30), pp. 157-166. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.01.006.

11. Wu R., Xu J.H., Li C., Wang Z.L. & Qin S. Stress distribution of mine roof with the boundary element method. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2015, (50), pp. 39-46. DOI: 10.1016/j.enganabound.2014.07.009.

12. Kuzin E.A. & Khalkechev K.V. Determination of control spatial and geometric parameters of stable mine workings. *Ugol'*, 2020, No. 9, pp. 65-67. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-65-67.

#### For citation

Khalkechev R.K., Khalkechev K.V., Levkin Yu.M. & Kuzmenko S.Yu. Mathematical support of the information system for analyzing the process of fractured roof destruction in coal fields. *Ugol'*, 2023, (8), pp. 64-66. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-64-66

#### Paper info

Received October 26, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023

UNDERGROUND MINING