

# Особенности моделирования аэрогазодинамики очистного забоя угольной шахты

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-75-78>

Анализ крупных аварий на угольных шахтах «Северная» (2016 г.) и «Листвяжная» (2021 г.) позволил выявить целый ряд проблем, связанных с проветриванием. Аэрологическая безопасность угольной шахты достигается правильным выбором технологических решений при проектировании, а в процессе добычи угля – оперативным контролем состояния рудничной атмосферы, управлением газовой выделением, соблюдением проектных решений и обязательных требований аэрологической безопасности. Для обеспечения нормируемого уровня метановой безопасности на действующих угольных шахтах, в зависимости от фактической газоносности пластов и нагрузки на очистной забой, применяют комплекс мероприятий, основанный на средствах вентиляции, включающих способы и схемы проветривания и управления газовой выделением, а в случаях невозможности работами по вентиляции обеспечить содержание взрывоопасных газов в рудничной атмосфере действующих горных выработок шахты в размере до 1% применяются различные виды дегазации. При этом нормативными документами не предлагаются решения по объективным расчетам совместной работы различных источников тяги в единой системе проветривания. Как следует из проведенных исследований, трехмерное моделирование позволяет оценить взаимное влияние всех способов управления газовой выделением в единой системе вентиляции.

**Ключевые слова:** угольная шахта, вентиляция, газ, моделирование, очистной забой, выработанное пространство.

**Для цитирования:** Особенности моделирования аэрогазодинамики очистного забоя угольной шахты / А.И. Кулик, А.Н. Тимченко, В.Н. Костеренко и др. // Уголь. 2023. № 3. С. 75-78. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-75-78.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России зарегистрированы как ОПО 74 шахты, при этом горные работы ведутся на 55 шахтах, в том числе к негазовым относятся 12 из них (16%), а к сверхкатегорным и опасным по внезапным выбросам угля, породы и газа – 39 (53%) (рис. 1). Количество шахт, работающих с дегазацией, – 32 (49%).

Актуальность обеспечения нормируемого уровня аэрологической безопасности подтверждается крупными авариями, связанными с взрывами. Так, на угольной шахте «Северная» в 2016 г. погиб 31 шахтер и 5 горноспасателей, на шахте «Листвяжная» в 2021 г. погибли 46 горняков и 5 горноспасателей.

Как правило, причинами взрывов в шахте являются организационно-технические причины, но основные причины связаны с недостатками организации проветривания горных работ. С увеличением длины очистного забоя и выемочных участков изменяется динамика газовой

## КУЛИК А.И.

Соискатель кафедры «Безопасность и экология горного производства» Горного института НИТУ «МИСиС», АО «Сибирская Угольная Энергетическая Компания», 119049, г. Москва, Россия

## ТИМЧЕНКО А.Н.

Канд. техн. наук, руководитель направления управления противоаварийной устойчивости, ГО и ЧС АО «СУЭК АО «СУЭК», 115054, г. Москва, Россия

## КОСТЕРЕНКО В.Н.

Канд. физ.-мат. наук, начальник управления противоаварийной устойчивости, ГО и ЧС – руководитель ситуационно-аналитического центра АО «СУЭК», 115054, г. Москва, Россия

## КОБЫЛКИН С.С.

Доктор техн. наук, профессор кафедры «Безопасность и экология горного производства» Горного института НИТУ «МИСиС», 119049, г. Москва, Россия, e-mail: [kobylkin.s@misis.ru](mailto:kobylkin.s@misis.ru)

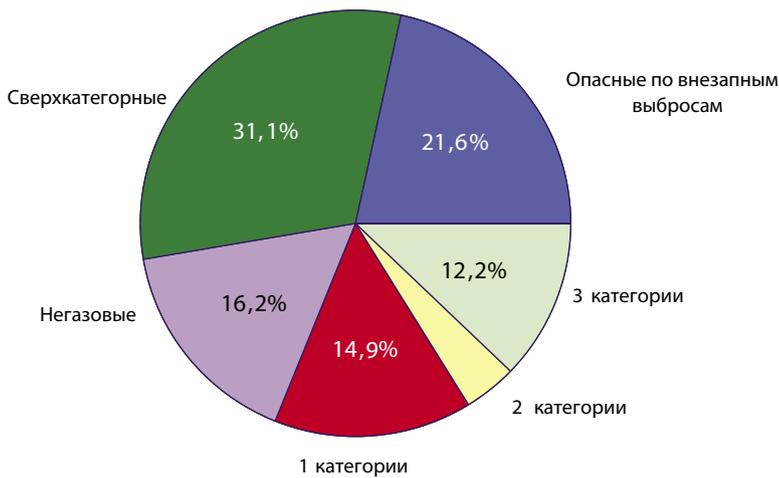


Рис. 1. Категорийность угольных шахт на 2022 г.

Fig. 1. Categories of coal mines for 2022

деления на выемочном участке. Распределение метана в очистном забое существенно зависит от аэродинамики и интенсивности проветривания. В очистной забой газ поступает с плоскости забоя, из почвы и кровли пласта, а также из выработанного пространства. Для снижения поступления газа из выработанного пространства применяют комплекс решений по управлению газовыделением, в том числе изолированный отвод метана из выработанного пространства за пределы выемочного участка по трубопроводам или неподдерживаемым и поддерживаемым газодренажным выработкам с помощью газотсасывающих вентиляторов или общешахтной депрессии, а также способы дегазации выработанного пространства с поверхности и (или) в купол обрушения из соседних горных выработок. На сегодняшний день в России нет нормативного или методического документов, позволяющих объективно учитывать взаимное влияние общешахтной депрессии, работы газотсасывающих вентиляторов и средств дегазации на управление газовыделением в очистной выработке.

### МЕТОД ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКИ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ

Трехмерное моделирование активно применяется в рудничной вентиляции, чаще всего применяют программный комплекс Ansys. Для угольных шахт реализованы модели, по-

зволяющие учесть перемещение добычного комбайна [1] с высоким уровнем детализации (рис. 2). При этом модели вмещающих пород для различных систем разработки [2] учитывают влияние горного давления на газ, находящийся в массиве. В качестве примера на рис. 3 представлены результаты такого моделирования.

В России также применяется трехмерное моделирование. В работе [3] расписан порядок выбора размеров расчетной сетки для условий горных выработок угольных шахт.

Результаты моделирования аэрогазодинамических процессов выемочного участка, включая выработанное пространство, для условий шахты им. С.М. Кирова приведены на рис. 4.

Сравнение полученного решения с данными натуральных экспериментов показало достаточ-

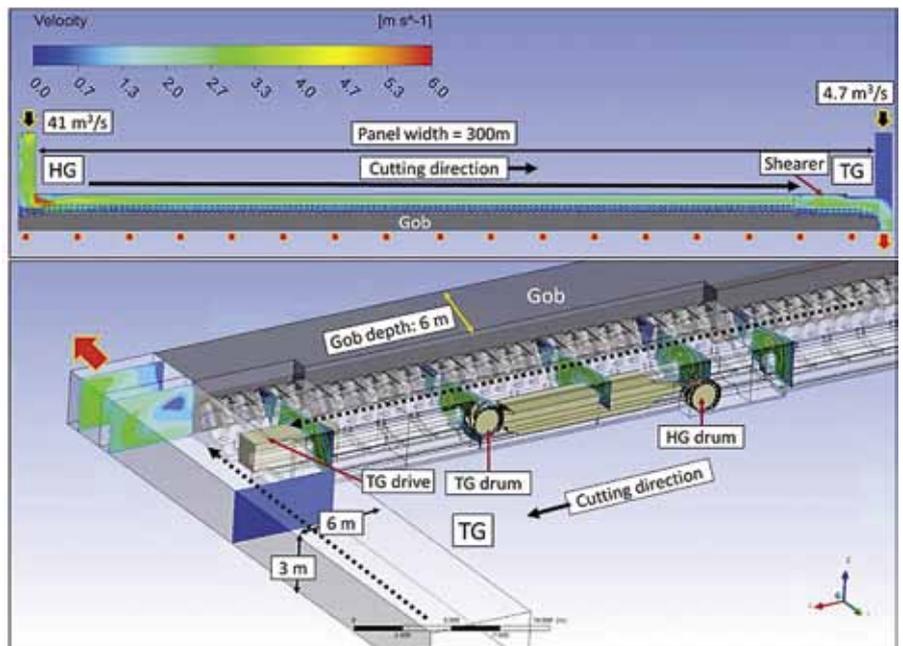


Рис. 2. Моделирование распределения скорости движения воздуха в области работы очистного комбайна [1]

Fig. 2. Modelling of air velocity distribution in the operating area of a cutter-loader [1]

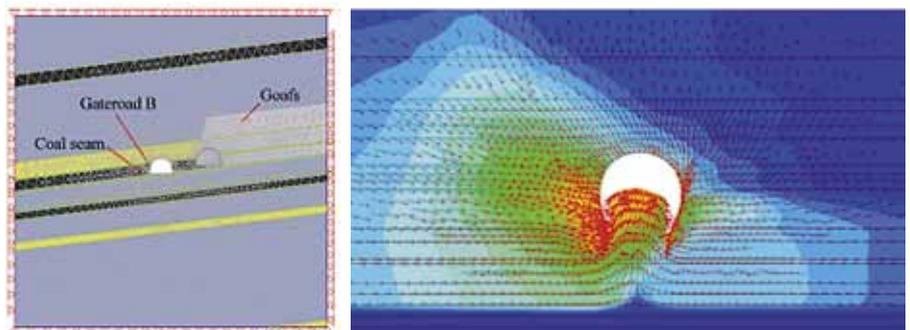


Рис. 3. Модель конвейерного штрака в массиве горных пород (а) и результаты расчёта распределения деформаций в профиле сечения горной выработки (б) [2]

Fig. 3. Model of a belt entry in the rock mass (a) and calculations of strain distribution in the tunnel cross-section (b) [2]

но высокую сходимость (более 90%) опять же при условии детальной проработки трехмерной модели.

При учете в аэродинамической модели взаимного влияния вентиляции, дегазации и газоотсоса основным моментом является определение аэродинамических сопротивлений выработанного пространства (проницаемости условной пористой среды), неподдерживаемых и поддерживаемых газодренажных горных выработок. Также необходимо определять размеры области обрушения, о чем свидетельствуют результаты моделирования и исследования других авторов [4, 5].

Например, опытным путем установлены для условий пласта «Болдыревский» коэффициенты проницаемости и потерь для выработанного пространства  $K_{perm} = 0,4 \cdot 10^{-5}$ ,  $K_{loss} = 0,2 \cdot 10^{-5}$ . Данные параметры характерны для конкретных горнотехнических условий.

При наличии зазоров между секциями крепи могут иметь место как утечки, так и подсосы метановоздушной смеси в призабойное пространство. В длинных очистных забоях притоки метана наблюдаются в разных частях лавы, а не только в кутке вентиляционной выработки.

Для анализа возможности решения задачи проектирования сложных систем проветривания была создана трехмерная модель угольной шахты с различными источниками тяги на поверхности (рис. 5) – главная вентиляторная установка (ГВУ), газоотсасывающая установка (ГОУ) и дегазационная установка.

При расчетах определялись параметры проветривания, такие как расходы, скорости движения воздуха, давления и депрессии различных участков. А также изучались линии тока и фильтрационные скорости в газодренажных выработках и в выработанном пространстве. По линиям тока в выработанном пространстве можно определить зоны скопления метана.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ существующих научных работ позволил определить основные особенности моделирования аэрогазодинамики выемочных участков.

1. Существенное значение имеет точность создания трехмерной модели. При оценке распределения метана, как в очистной горной выработке, так и в выработанном пространстве, требуется высокая детализация.

2. При оценке эффективности работы различных источников тяги (общешахтной депрессии, дегазации и га-

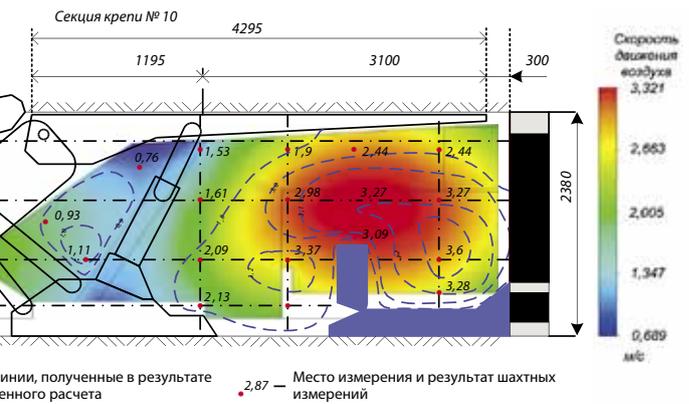


Рис. 4. Сравнение результатов численного моделирования и натуральных измерений шахты им. С.М. Кирова

Fig. 4. Comparison of numerical simulation results and in-situ measurements in the Kirov Mine

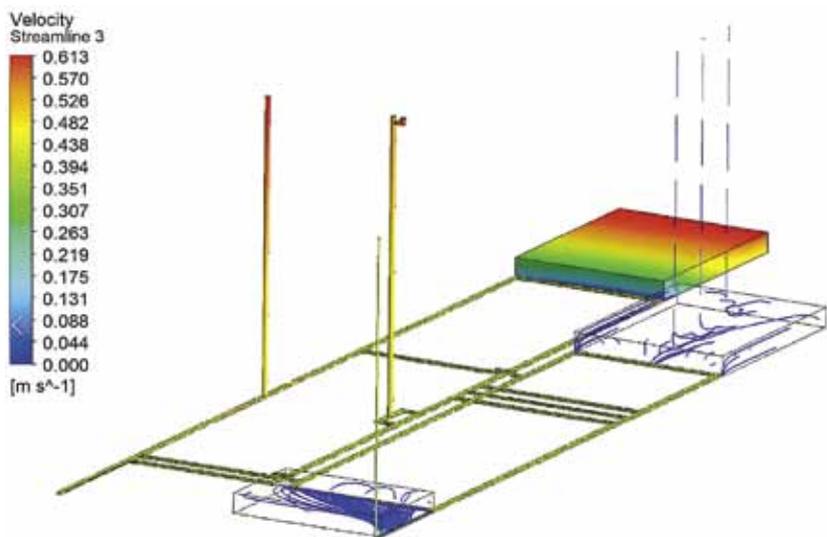


Рис. 5. Результаты численного расчета распределения давления по поверхности горных выработок и изолинии скорости движения воздуха по шахте с учетом работы ГВУ, дегазации и ГОУ

Fig. 5. Results of numerical calculations of pressure distribution on the surface of mine workings and isoline of air velocity through the mine with account of operation of the main ventilation unit, degassing and gas cleaning plant

зоотсоса) трехмерное моделирование позволяет определить оптимальные параметры. Однако для этого необходимо провести верификацию получаемых расчетных данных.

3. При моделировании выемочного участка предварительно необходимо опытным путем определить ориентировочные коэффициенты проницаемости и потерь для выработанного пространства. При проектировании новых участков возможно использовать справочные данные.

## Список литературы

1. Aditya Juganda, Claire Strebinger. Computational Fluid Dynamics Modelling of a Methane Gas Explosion in a Full-Scale, Underground Longwall Coal Mine // Mining, Metallurgy & Exploration. 2022. No 39. P. 897-916.

2. Stanisaw Prusek. Changes in cross-sectional area of gateroads in longwalls with roof caving, ventilated with «U» and «Y» systems // Arch. Min. Sci. 2015. Vol. 60. No 2. P. 549-564.
3. Кобылкин С.С., Тимченко А.Н., Кобылкин А.С. Применение компьютерного моделирования при выборе параметров работы пылеотсоса, встраиваемого в проходческие комбайны // Безопасность труда в промышленности. 2021. № 3. С. 21-27.
4. Aditya Juganda, Claire Strebinger, Jurgen F. Brune. Discrete modelling of a longwall coalmine gob for CFD simulation // International Journal of Mining Science and Technology. 2020. No 30. P. 463-469.
5. Кобылкин А.С., Кобылкин С.С. Исследование движения воздуха через неоднородную пористую среду // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 8. С. 224-228.
6. Caving mechanisms of loose top-coal in longwall top-coal caving mining method / Jiachen Wang, Shengli Yang, Yang Li et al. // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2014. No 71. P. 160-170.
7. Andrzej Walentek, Tomasz Janoszek. Influence of longwall gateroad convergence on the process of mine ventilation net work-model tests // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. No 29. P. 585-590.
8. Predicting fugitive gas emissions from gob-to-face in longwall coal mines: Coupled analytical and numerical modelling / Ang Liu, Shimin Liu, Gang Wang et al. // International Journal of Heat and Mass Transfer 2020. No 150. 119392.
9. Stoltz R.T., Francart W.J. Sealing arecent United States coal mine longwall gob fire / 11 U.S./North American Mine Ventilation Symposium 2006 – Mutmanský & Ramani(eds) ©. London: Taylor & Francis Group, 2006. P. 331-335.
10. Predicting methane emissions from longer longwall faces by analysis of emission contributors / R.B. Krog, S.J. Schatzel, F. Garcia et al. / 11 U.S./North American Mine Ventilation Symposium 2006 – Mutmanský & Ramani(eds)© London: Taylor & Francis Group, 2006. P. 383-392.

Original Paper

UDC 622.4:533.6 © A.I. Kulik, A.N. Timchenko, V.N. Kosterenko, S.S. Kobylkin, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 3, pp. 75-78  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-75-78>

## Title

### FEATURES OF MODEILING AEROGASODYNAMICS OF COAL MINE FACE

#### Authors

Kulik A.I.<sup>1,2</sup>, Timchenko A.N.<sup>1</sup>, Kosterenko V.N.<sup>1</sup>, Kobylkin S.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> "SUEK" JSC, Moscow, 115054, Russian Federation

<sup>2</sup> National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

#### Authors Information

**Kulik A.I.**, Applicant at the Department of Mining Safety and Ecology, Mining Institute

**Timchenko A.N.**, PhD (Engineering), Head of the Department of Emergency Management, Civil Defense and Emergency Management

**Kosterenko V.N.**, PhD (Physical and Mathematical), Head of Emergency Tolerance, Civil Defense and Emergency Situations – Head of the Situation Analysis Centre

**Kobylkin S.S.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of Mining Safety and Ecology, Mining Institute, e-mail: [kobylkin.s@misis.ru](mailto:kobylkin.s@misis.ru)

#### Abstract

Analysis of major accidents at the Severnaya (2016) and Listvyazhnaya (2021) coal mines revealed a number of problems related to ventilation. The aerological safety of a coal mine is achieved by the correct choice of technological solutions in the design, and in the process of coal mining – by operational control of the state of the mine atmosphere and gas emission control. Currently, coal mines, due to the high gas content, use a whole range of measures, including new ventilation schemes, various types of degassing and gas suction. At the same time, design and regulatory documents do not offer solutions for calculations in a single system of all thrust sources. As the conducted studies have shown, three-dimensional modelling allows us to evaluate the mutual influence of all methods of gas emission control in a single system.

#### Keywords

Coal mine, Ventilation, Gas, Modelling, Mine face, Gob.

#### References

1. Aditya Juganda & Claire Strebinger. Computational Fluid Dynamics Modelling of a Methane Gas Explosion in a Full-Scale, Underground Longwall Coal Mine. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 2022, (39), pp. 897-916.
2. Stanisaw Prusek. Changes in cross-sectional area of gateroads in longwalls with roof caving, ventilated with "U" and "Y" systems. *Arch. Min. Sci.*, 2015, Vol. 60, (2), pp. 549-564.
3. Kobylkin S.S., Timchenko A.N. & Kobylkin A.S. Application of computer modelling when selecting the operating parameters of dust extractor in-

tegrated into roadheaders. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2021, (3), pp. 21-27. (In Russ.).

4. Aditya Juganda, Claire Strebinger & Jurgen F. Brune Discrete modelling of a longwall coalmine gob for CFD simulation. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2020, (30), pp. 463-469.

5. Kobylkin A.S. & Kobylkin S.S. A study of air passing through a heterogeneous porous medium. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2015, (8), pp. 224-228. (In Russ.).

6. Jiachen Wang, Shengli Yang, Yang Li & Like Wei. Caving mechanisms of loose top-coal in longwall top-coal caving mining method. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2014, (71), pp. 160-170.

7. Andrzej Walentek & Tomasz Janoszek. Influence of longwall gateroad convergence on the process of mine ventilation net work-model tests. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2019, (29), pp. 585-590.

8. Ang Liu, Shimin Liu, Gang Wang & Derek Elsworth. Predicting fugitive gas emissions from gob-to-face in longwall coal mines: Coupled analytical and numerical modelling. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2020, (150), 119392.

9. Stoltz R.T. & Francart W.J. Sealing arecent United States coal mine longwall gob fire. 11 U.S./North American Mine Ventilation Symposium 2006 – Mutmanský & Ramani(eds)©. London, Taylor & Francis Group, 2006, pp. 331-335.

10. Krog R.B., Schatzel S.J., Garcia F. & Marshal J.K. Predicting methane emissions from longer longwall faces by analysis of emission contributors. 11 U.S./North American Mine Ventilation Symposium 2006 – Mutmanský & Ramani(eds) ©. London, Taylor & Francis Group, 2006, pp. 383-392.

#### For citation

Kulik A.I., Timchenko A.N., Kosterenko V.N. & Kobylkin S.S. Features of modelling aerogasodynamics of coal mine face. *Ugol'*, 2023, (2), pp. 75-78. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-2-75-78](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-2-75-78).

#### Paper info

Received December 27, 2022

Reviewed January 15, 2023

Accepted February 27, 2023

UNDERGROUND MINING