

УДК 622.85:622.235 © А.А. Стрелецкий, С.С. Кубрин, 2022

# Необходимость использования метеорологических данных для повышения точности оценки траектории перемещения пылегазового облака после проведения массовых взрывов\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-49-52>

Мониторинг окружающей среды, в частности выбросов вредных веществ в атмосферу при проведении взрывных работ на угольных разрезах, на сегодняшний день не представляет комплексной единой системы. Существующие методики определения техногенной нагрузки на атмосферу – узконаправленные и имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что не учитывают влияние метеорологического фактора на распространение пылевого облака. Поэтому их необходимо дополнить учетом в расчетах аэродинамических параметров атмосферы, таких как: относительная и абсолютная влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, дифференцированных по высоте, позволяющих более эффективно и точно осуществлять мониторинг пылегазового облака, траекторию его перемещения и процесс седиментации аэрозоли.

**Ключевые слова:** мониторинг, контроль, вредные вещества, пыль, газоанализатор, атмосфера.

**Для цитирования:** Стрелецкий А.А., Кубрин С.С. Необходимость использования метеорологических данных для повышения точности оценки траектории перемещения пылегазового облака после проведения массовых взрывов // Уголь. 2022. № S12. С. 49-52. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-49-52>.

## ВВЕДЕНИЕ

При массовых взрывах на открытых работах образуется облако пыли и газа. Пылевидные частицы могут подниматься на высоту до 300 м, а затем оседать на поверхность окружающей местности. Известны случаи, что облако поднималось на высоту до нескольких тысяч метров. Азотные соединения, попадая в зону дождевых облаков, образуют азотную кислоту и выпадают на больших площадях окружающей местности, в том числе и сельскохозяйственного назначения, в виде кислотных дождей, нанося ущерб природе и землепользованию [1, 2].

При отработке уступов угля кроме запыления и загрязнения атмосферы рабочей зоны, прилегающих территорий, близлежащих

## СТРЕЛЕЦКИЙ А.А.

Ведущий инженер ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: [Seaman1079@yandex.ru](mailto:Seaman1079@yandex.ru)

## КУБРИН С.С.

Доктор техн. наук, профессор,  
заведующий лабораторией ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: [s\\_kubrin@mail.ru](mailto:s_kubrin@mail.ru)

\* Исследования проведены в рамках мероприятия № 1 Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 года № 1144-р, и соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации № 075-15-2022-1185 от 28 сентября 2022 года.

населенных пунктов и водного бассейна наблюдается негативное воздействие горных работ, заключающееся в том, что происходит сокращение срока службы оборудования, зданий и сооружений промышленной инфраструктуры. Седиментация твердых частиц, вредных веществ в виде растворов и кислотных соединений, образовавшихся в результате физико-химического взаимодействия аэрозолей с атмосферной водой из пылегазового облака, образовавшегося после разрушения горных пород взрывом, отрицательно влияет на плодородность земель сельскохозяйственного назначения, увеличивает экологическую нагрузку на близлежащую территорию, отрицательно влияет на флору и фауну, снижает качество и условия жизни населения в муниципальных образованиях. Развитие горнодобывающей промышленности не должно наносить вред окружающей среде, частью которой является человек [3, 4]. Анализ мировой практики показывает, что загрязнение окружающей среды повышает уровень заболеваемости населения в угледобывающих регионах [5, 6].

Основными загрязняющими веществами, наиболее отрицательно влияющими на состав атмосферы, образующимися при проведении взрывных работ на угольных разрезах, являются: оксид и диоксид азота, оксид углерода и пыль неорганическая с содержанием  $\text{SiO}_2$ .

#### МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПЫЛЕГАЗОВОГО ОБЛАКА

На сегодняшний день существует методика по расчету неорганизованных выбросов пыли и вредных газов в атмосферу при взрывных работах на карьерах горнодобывающих предприятий [7], определяющая только интегральные оценки, характеризующие пылегазовое облако, образованное в результате массовых взрывов на угольных разрезах.

Параметры и единицы измерения пылегазового облака:

- объем пылегазового облака,  $V_{\text{об}}$ , куб. м;
- высота подъема пылегазового облака,  $H$ , м;
- температура газов в облаке,  $T$  (градус), °C;
- концентрация загрязняющих веществ  $M_{\text{гп}}$ , мг/м<sup>3</sup>;
- масса твердых частиц (пыли),  $M_{\text{п}}$ , кг.

Представленная методика не позволяет оценить техногенную нагрузку на прилегающую территорию, как изменяются условия проживания населения, экология. Также невозможно оценить, к каким изменениям приведут вредные вещества пылегазового облака: к катастрофическим (разрушению экологической системы), значительным (существенному изменению флоры, фауны, плодородности сельскохозяйственных земель, условий проживания населения) или незначительным.

Методика расчета эколого-атмосферных параметров промышленных взрывов [8] позволяет определить характеристики трех основных составляющих пылегазового выброса: выделения токсичных газов, образования пыли, распространения пылегазового облака.

Гранулометрический состав пыли и его влияние на окружающую среду являются важными показателями для оценки пылегазового облака. Эти параметры определяются на основе результатов исследований, представленных в работе [9].

Распространение пылегазового облака в атмосфере описывается законами двух физических процессов: диффузии и перемещения частиц под действием гравитации и воздушных потоков в атмосфере. С помощью методического подхода, разработанного в ИПКОН РАН, спрогнозированы траектория перемещения пылегазового облака, места седиментаций твердых и жидких веществ, определение техногенной нагрузки, процессы распространения в атмосфере газов и пыли, образующихся при взрыве. [10, 11, 12].

Компьютерная программа «Взрывовыброс» позволяет рассчитать следующие величины:

- время достижения максимальной токсичности;
- максимальная величина показателя токсичности;
- максимальная концентрация токсичного газа, мг/м<sup>3</sup>;
- время наступления опасной зоны;
- время окончания опасной зоны;
- продолжительность опасной зоны;
- дисперсный состав пыли в момент максимальной опасности;
- плотность выпавшей пыли, мг/м<sup>2</sup>;
- гранулометрический состав выпавшей пыли.

Для расчета параметров выбросов используются масса и тип ВВ; скорость и направление ветра; крепость горной породы [12].

Анализ существующих методик оценки пылегазового облака позволяет сделать вывод, что они не учитывают ряд важнейших факторов, влияющих на процесс формирования, распространения и седиментации вредных веществ пылегазового облака и не дают ответ о степени отрицательного влияния взрывов, проводимых на угольных разрезах, на здоровье человека и экологическую обстановку в регионе.

К таким факторам необходимо отнести: относительная и абсолютная влажность воздуха; атмосферное давление; скорость и направление ветра, дифференцированные по высоте.

Абсолютная влажность атмосферного воздуха влияет на нагрев солнцем и, как следствие, на воздухообмен в карьерах. Относительная влажность меняется в течение суток и времени года и влияет на вертикальный воздушный обмен.

Различная степень освещенности бортов разрезов приводит к возникновению небольшой разности статических давлений. Наличие этого фактора вызывает движение потоков воздуха в сторону зоны с меньшим давлением и влияет на направление распространения пылегазового облака [13].

Так, при проведении буровзрывных работ зачастую используют годовую или среднегодовую восьмилучевую розу ветров, что существенно сказывается на расчете распространения пылегазового облака из-за своей малой точности.

Для повышения точности расчета распространения пылегазового облака необходимо использовать розу ветров помимо направления ветра, демонстрирующую также частоту ветров (дифференцированную по определенному признаку – в день, в месяц, в год), а также силу ветра, продолжительность ветра (минут в день, минут в час). Также возможно использование комплексной розы ветров, на которой будут присутствовать диаграммы двух и более параметров. На *рис. 1* представлена роза ветров, показывающая направление и силу ветра в круговой системе счета.

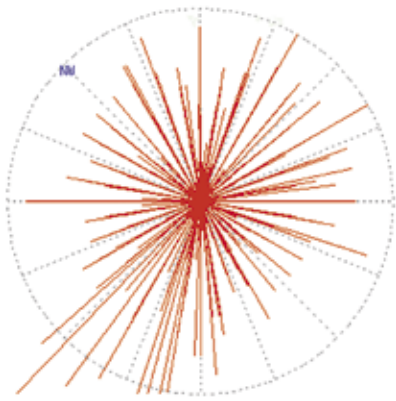


Рис. 1. Роза ветров  
Fig. 1. Wind rose

### СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПЫЛЕГАЗОВОГО ОБЛАКА

Одним из наиболее часто применяемых средств газового контроля при проведении буровзрывных работ на угольных карьерах является газоанализатор Комета-М, показанный на рис. 2.

Газоанализатор предназначен для измерения токсичных, горючих и опасных газов: диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ), метана ( $\text{CH}_4$ ), пропана ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), углеводородов (СН).

При мониторинге пылегазового облака, прежде всего, необходимо использовать не только газоанализатор как основной прибор контроля выброса вредных веществ в атмосферу, но и оптические датчики пыли, например прибор СДП-1, показанный на рис. 3.



Рис. 2. Газоанализатор Комета-М  
Fig. 2. The Kometa-M Gas Analyzer



Рис. 3. Анализатор  
пыли СДП-1  
Fig. 3. The SDP-1  
Dust Analyzer

Прибор СДП предназначен для непрерывного измерения оптической плотности и вычисления массовой концентрации пыли в атмосфере рабочих зон, горных выработок, вентиляционных систем угольных и промышленных предприятий [14].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для контроля окружающей среды при проведении взрывных работ на предприятиях открытой уголедобычи необходимо размещать измерительные приборы не только в отводах горных разрезов, в местах ожидаемых максимумов приземных концентраций пыли вблизи населенных пунктов, но и по периметру жилых застроек.

Для этого необходимо чтобы аппаратура контроля выбросов вредных веществ имела определенную автономность, позволяющую проводить мониторинг удаленно. Поэтому требуется комплексное применение высокоточных метеоданных, учитывающих помимо силы и направления ветра также его горизонтальную и вертикальную составляющие, влажность воздуха (абсолютную, относительную), атмосферное давление.

Наряду с высокоточными метеоданными необходимо применять ряд технических средств, контролирующих пылегазовое облако, образованное в результате массового взрыва: газоанализаторы, лазерные детекторы пыли, позволяющие дистанционно зондировать размер и плотность пылегазового облака. Совокупность данных мер мониторинга выбросов вредных веществ снизит риски для прилегающей экологической системы, атмосферы и жителей близлежащих населенных пунктов.

### Список литературы

1. Masaev Yu.A., Panachev I.A. Environmental impact of coal mining in the Kuznetsk basin. The problem of creating environmentally friendly and resource-saving technologies for mining and processing mining waste. Proceedings of the I International Conference. Tula, 1996. P. 77-78.
2. Трушина Г.С. Влияние угольной промышленности Кузбасса на экологическую и продовольственную безопасность региона // Уголь. 2018. № 10. С. 98-101. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-98-101.
3. Mark Brusseau, Ian Pepper, Charles Gerba. Environmental and Pollution Science. 3rd Edition. Academic Press, 2019. 662 p.
4. Zhernov E., Nekhoda E., Peters D. Nature and economy in the mining region: Holistic approach / E3S Web of Conferences. 4th International Innovative Mining Symposium, 2019, Vol. 105, Article No. 04012.
5. Seasonal and spatial variations of PM10-bounded PAHs in a coal mining city, China: Distributions, sources, and health risks / L. Zheng, J. Ou, M. Liu et al. // Ecotoxicology Environmental Safety. 2019. Vol. 169. P. 470-478.
6. Blood markers among residents from a coal mining area / A.P. Bigliardi, C.L.F. Fernandes, E.A. Pinto et al. // Environmental Science Pollution Reseach. 2021. Vol. 28. P. 1409-1416.
7. Методические указания по расчету неорганизованных выбросов пыли и вредных газов в атмосферу при взрывных работах на карьерах горно-химических предприятий. Люберцы, 1987. С. 7.

8. Викторов С.Д., Бутысин В.С. Методика и программа расчета образования распространения пылегазового облака при массовом взрыве на угольном карьере // Горный журнал. 1996. № 5. С. 50-52.
9. Бересневич П.В., Наливайко В.Г. Снижение выбросов пыли в атмосферу карьеров и окружающую среду при массовых взрывах. М.: Черметинформация, 1985. С. 24.
10. Марчук Г.М. Математическое моделирование проблем окружающей среды. М.: Наука, 1982. С. 9.
11. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнение математической физики. М.: Наука, 1996. С. 728.
12. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Прогнозирование атмосферных выбросов промышленных взрывов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 3. С. 313-316.
13. Мартянов В.Л. Аэрология горных предприятий КузГТУ. Кемерово, 2016. С. 100.
14. ООО «Информационные горные технологии» (ООО «ИНГОРТЕХ»). Режим доступа: раздел «Устройства», подраздел «Датчики», подраздел «Датчики пыли». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ingortech.ru/> (дата обращения: 15.11.2022).

## Original Paper

UDC 622.85:622.235 © A.A. Streleckiy, S.S. Kubrin, 2022  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 512, pp. 49-52  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-512-49-52>

## Title

**THE NEED TO USE METEOROLOGICAL DATA TO IMPROVE THE ACCURACY OF ESTIMATING THE TRAJECTORY OF A DUST AND GAS CLOUD AFTER MASS EXPLOSIONS**

## Authors

Streleckiy A.A.<sup>1</sup>, Kubrin S.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ICEMR RAS, Moscow, 111020, Russian Federation

## Authors Information

**Streleckiy A.A.**, Leading engineer, e-mail: [Seaman1079@yandex.ru](mailto:Seaman1079@yandex.ru)

**Kubrin S.S.**, Doctor of engineering sciences, Professor, Head of the laboratory, e-mail: [s\\_kubrin@mail.ru](mailto:s_kubrin@mail.ru)

## Abstract

Monitoring of the environment in particular emission of harmful substances into the atmosphere during blasting operations on coal open pit, doesn't represent a comprehensive unified system. Existing methods for determining technogenic atmospheric load are narrowly focused and have a significant drawback: they don't consider the meteorological factor of dust cloud propagation. Therefore, it is necessary to complete the methods by account in calculation of aerodynamic parameters of the atmosphere, such as relative and absolute humidity, atmospheric pressure, wind speed and direction, differentiated in height. It would allow, to monitor the dust and gas cloud, it's motion trajectory and sedimentation process more efficient and accurate.

## Keywords

Monitoring, Control, Harmful substances, Dust, Gas analyzer, Atmosphere.

## References

1. Masev Yu.A. & Panachev I.A. Environmental impact of coal mining in the Kuznetsk basin. The problem of creating environmentally friendly and resource-saving technologies for mining and processing mining waste. Proceedings of the I International Conference. Tula, 1996, pp. 77-78. (In Russ.).
2. Trushina G.S. The influence of the Kuzbass coal industry on the ecological and food security of the region. *Ugol'*, 2018, (10), pp. 98-101. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2018-10-98-101](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-10-98-101).
3. Mark Brusseau, Ian Pepper & Charles Gerba. Environmental and Pollution Science. 3rd Edition. Academic Press, 2019, 662 p.
4. Zhernov E., Nekhoda E. & Peters D. Nature and economy in the mining region: Holistic approach. E3S Web of Conferences. 4th International Innovative Mining Symposium, 2019, (105), Article No. 04012.
5. Zheng L., Ou J., Liu M. et al. Seasonal and spatial variations of PM10-bound PAHs in a coal mining city, China: Distributions, sources, and health risks. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 2019, (169), pp. 470-478.
6. Bigliardi A.P., Fernandes C.L.F., Pinto E.A. et al. Blood markers among residents from a coal mining area. *Environmental Science Pollution Research*, 2021, (28), pp. 1409-1416.

7. Methodological guidelines for calculation of fugitive dust and hazardous gas emissions into the atmosphere during blasting operations in open pits of mining and chemical operations. Lyubertsy, 1987, p. 7. (In Russ.)

8. Viktorov S.D. & Butysin V.S. Methodology and program for calculating the formation and propagation of a dust and gas cloud during large-scale blasts in a coal open-cast mine. *Gornyj zhurnal*, 1996, (5), pp. 50-52. (In Russ.).

9. Beresnevich P.V. & Nalivaiko V.G. Reducing dust emissions into the atmosphere of open-pit mines and the environment during large scale blasts. Moscow, *Chermetinformatsiya Publ.*, 1985, p. 24. (In Russ.)

10. Marchuk G.M. Mathematical modeling of environmental issues. Moscow, *Nauka Publ.*, 1982, p. 9. (In Russ.)

11. Tikhonov A.N. & Samarsky A.A. The equation of mathematical physics. Moscow, *Nauka Publ.*, 1996, p. 728. (In Russ.)

12. Victorov S.D., Kazakov N.N. & Shlyapin A.V. Prediction of atmospheric emissions from industrial blasts. *Gornyj informacionno-analiticheskiy byulleten'*, 2012, (3), pp. 313-316. (In Russ.).

13. Martyanov V.L. Aerology of mining enterprises, Gorbachev's Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 2016, p. 100. (In Russ.)

14. Information Mining Technologies LLC (INGORTECH LLC) Access path: Devices section, Sensors subsection, Dust Sensors subsection. Available at: <https://www.ingortech.ru/> (accessed: 15.11.2022). (In Russ.).

## Acknowledgements

The research was performed as part of Activity No.1 of the Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation as of May 11, 2022, and Agreement No. 075-15-2022-1185 as of September 28, 2022, on providing grants from the federal budget in the form of subsidies in accordance with Item 4 of Article 78.1 of the Budget Code of the Russian Federation.

## For citation

Streleckiy A.A. & Kubrin S.S. The need to use meteorological data to improve the accuracy of estimating the trajectory of a dust and gas cloud after mass explosions. *Ugol'*, 2022, (512), pp. 49-52. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2022-512-49-52](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-512-49-52).

## Paper info

Received November 1, 2022

Reviewed November 15, 2022

Accepted November 30, 2022

## SURFACE MINING