Оригинальная статья

УДК 504.55.054:622 © Т.А. Панфилова[1,2], Я.А. Тынченко[1,2], В.С. Тынченко✉[1,2,3], К.И. Кравцов[2], В.В. Тынченко[1,2,3], 2025

[1] Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия
[2] Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, г. Москва, Россия
[3] Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, 660037, г. Красноярск, Россия
✉ e-mail: vadimond@mail.ru

Original Paper

UDC 504.55.054:622 © T.A. Panfilova[1,2], Ya.A. Tynchenko[1,2], V.S. Tynchenko✉[1,2,3], K.I. Kravtsov[2], V.V. Tynchenko[1,2,3], 2025

[1] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
[2] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation
[3] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
✉ e-mail: vadimond@mail.ru

Выбор средств пылеподавления в опасных по газу и пыли угольных шахтах

Selection of dust suppression means in coal mines with hazardous gas and dust

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-5-93-96

Статья посвящена проблеме снижения опасности взрывов газопылевоздушной смеси в угольных шахтах. Средства пылеподавления не обеспечивают снижения запыленности воздуха до предельно допустимых значений, поэтому запыленность воздуха на рабочих местах превышает допустимый уровень в разы. Приведены результаты комплексных исследований применяемых в угольном производстве средств защиты рабочих и оборудования от опасности взрывов газопылевоздушной среды – от простейших до эффективных и перспективных. Сформулирована методология доказательства эффективности технологий пылеподавления путем использования общепринятых методов исследований. Даны результаты сопоставления возможностей вариантов защиты шахтной атмосферы в зависимости от применяемой техники и технологии. Детализированы параметры и возможности перспективных способов профилактики взрывов газопылевоздушной среды. Приведены расчеты параметров пылеподаления. Рекомендована схема подавления пыли с использованием конических и цилиндрических водовоздушных эжекторов и пеной при разработке тонких крутопадающих слоев угля. Показана возможность комбинирования возможностей средств пылегазовой защиты с традиционной шахтной вентиляцией.

Ключевые слова: *газопылевоздушная смесь, уголь, пылеподавление, защита рабочих,* исследование.

Для цитирования: Выбор средств пылеподавления в опасных по газу и пыли угольных шахтах / Т.А. Панфилова, Я.А. Тынченко, В.С. Тынченко и др. // Уголь. 2025;(5):93-96. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-5-93-96.

Abstract

The article is devoted to the problem of reducing the risk of explosions of gas-dust-air mixture in coal mines. Dust suppression means do not reduce the dust content of the air to the maximum permissible values, therefore, the dust content of the air in the workplace exceeds the permissible level at times. The results of comprehensive studies of the means of protecting workers and

ПАНФИЛОВА Т.А.
Канд. техн. наук,
кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, Россия,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
105005, г. Москва, Россия,
e-mail: t_ pan80@mail.ru

ТЫНЧЕНКО Я.А.
Лаборатория биотопливных композиций,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, Россия,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
105005, г. Москва, Россия,
e-mail: t080801@yandex.ru

ТЫНЧЕНКО В.С.
Доктор техн. наук,
кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, Россия,
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
105005, г. Москва, Россия,
Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева,
660037, г. Красноярск, Россия,
e-mail: vadimond@mail.ru

КРАВЦОВ К.И.
Центр ДПО МГТУ им. Н.Э. Баумана,
105005, г. Москва, Россия,
e-mail: rhfdwjdr1@gmail.com

ТЫНЧЕНКО В.В.
Канд. техн. наук, кафедра программной инженерии,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск Россия,
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
105005, г. Москва, Россия,
Сибирский государственный университет
науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева,
660037, г. Красноярск, Россия,
e-mail: 051301@mail.ru

equipment from the danger of gas-dust-air explosions used in coal production from the simplest to the most effective and promising are presented. A methodology has been formulated to prove the effectiveness of dust pressure technologies by using generally accepted research methods. The results of comparing the possibilities of mine atmosphere protection options depending on the equipment and technology used are given. The parameters and possibilities of promising methods of preventing explosions of the gas-dust-air environment are detailed. Calculations of dust removal parameters are given. A dust suppression scheme using conical and cylindrical water-air ejectors and foam is recommended for the development of thin steeply falling layers of coal. The possibility of combining the capabilities of dust and gas protection with traditional shaft ventilation is shown.

Keywords
Gas-dust-air mixture, coal, dust suppression, worker protection, research.
For citation
Panfilova T.A., Tynchenko Ya.A., Tynchenko V.S., Kravtsov K.I., Tynchenko V.V. Selection of dust suppression means in coal mines with hazardous gas and dust. *Ugol'*. 2025;(5):93-96. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-5-93-96.

ВВЕДЕНИЕ

Горные работы в опасных по газу и пыли угольных шахтах сопряжены с вероятностью взрывов газопылевоздушной смеси. Средства пылеподавления не обеспечивают снижение запыленности воздуха до предельно допустимых значений, поэтому запыленность воздуха на рабочих местах нередко превышает уровень ПДК в 7-8 раз [1, 2, 3]. Основным средством пылевзрывозащиты являются пассивные заслоны. Перспективным способом является использование автоматических средств гашения взрывов – от простых флегматизаторов до ингибиторов горения на основе легкоразлагающихся солей. Применяемые способы борьбы с пылью не гарантируют пылевзрывобезопасности горных работ [4, 5].

Мероприятия для предупреждения и локализации взрывов угольной пыли осуществляют способами, основанными на применении инертной пыли или воды. Количество пыли зависит от природных пылеобразующих свойств угольного пласта и от способа разрушения. До 14% пыли уже находятся в экзогенных трещинах пласта и в его препарированных пачках, в зависимости от марки и степени тектонической нарушенности угля [6, 7, 8]. Пыль образуется при транспортировке, погрузке, разгрузке угля и горной породы и других процессах при истирании горной массы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методология доказательства эффективности новой технологии включает в себя использование общепринятых методов исследований: анализ, технико-экономическая оценка, детализация теории, экспериментальное подтверждение и разработка рекомендаций по оптимизации технологии. Более детализированы перспективные процессы и оборудование [9, 10].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На образование пыли в большей степени влияет технология добычи угля. Пылеобразование снижается до шести раз при струговой выемке угля по сравнению с выемкой комбайнами с радиальным расположением резцов. При добыче угля комбайнами непрерывного действия щитового типа количество пыли снижается до пяти раз по сравнению с комбайнами избирательного действия [11, 12, 13, 14].

Перспективным методом уменьшения пылеобразования считается водоувлажнение угольного массива путем нагнетания воды в слой угля. Чтобы адгезионно-когезионные силы между поверхностями пылевидных частичек увеличивались и из них образовывались крупные частицы, которые осаждаются под действием гравитации, уголь увлажняют. При увлажнении угля на 1-3% пылеобразование уменьшается на 75-80%, а при влажности угля 12% пыль практически не образуется [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

Для улучшения смачивания угля и снижения пылеобразования используются поверхностно-активные вещества (ПАВ), такие как ДБ, ДТ-7 и неонол-1020, в концентрации 0,1-0,2%. ПАВ снижают поверхностное натяжение воды и способствуют адсорбции на частицах пыли. Для изоляции скважин и шнуров применяются шланговые гидрозатворы, например «Таурус-45», ГТ-45. Они расширяются под давлением воды, обеспечивая герметизацию и подачу воды в нужные области.

Для увлажнения угольного пласта применяют закачку воды насосами (до 33 МПа, 90 л/мин), а также различные виды орошения: водовоздушное эжектирование, пневмогидроорошение и туманообразование, так как предварительное увлажнение эффективно лишь на 85%. Орошение основано на смачивании пыли и ее осаждении. Системы орошения делятся на внутренние и внешние. Внутреннее орошение эффективнее и экономичнее, но подвержено за-

сорению. Секционное орошение используется в струговых конструкциях, а щитовые аппараты имеют 4-5 оросителей в элементах крепи. Подвод воды к установкам осуществляется при помощи оросительных насосных аппаратов, но возможен и от пожарного трубопровода, если давление воды в месте подсоединения забойного водопровода не менее:

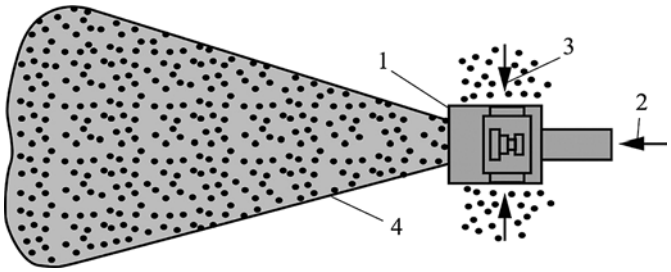
$$P_{п} = P + \Delta P + \lambda Q^2 L_{л} \pm 0{,}01 L_{л} \sin\alpha, \text{ МПа} \quad (1)$$

где $P_{п}$ – давление воды у оросительной системы; ΔP – снижение давления в системе; λ – снижение давления на одном метре водопровода; Q – расход воды; L – длина трубопровода; α – угол залегания пласта.

При влажности угольного пласта 9% и более расход воды на орошение снижается на 12-16 л/т. Водовоздушные смеси для орошения получают смешиванием воды и сжатого воздуха. Пневмогидроорошение обеспечивает более мелкое распыление воды и осаждение дисперсной пыли. Для направления тумана к источнику пыли используют форсунки с двойным факелом: внешний дисперсный и внутренний мелкодисперсный. Также применяются форсунки с переменной дисперсностью. При разрежении, создаваемом водяным факелом, запыленный воздух смешивается с водой, образуя шлам, участвующий в пылеподавлении *(см. рисунок)*.

Для пылеподавления применяются эжекторы (при передвижении крепи), промывка водой при бурении (осевая или боковая подача, в пневмоэлектросверлах только боковая) и центробежные вентиляторы с орошением и шламоотделителями в комбайнах. Эффективность пылеулавливания измеряется кратностью пылеотсоса (1,3-1,4 для проходческих, 0,5-0,7 для очистных комбайнов). На тонких крутопадающих слоях используют пену (генераторы 1П1С.02, 1П1С.01 с «Углепеном»). Осевшая пыль требует доочистки системами обеспылевания. Эффективны также туманообразующие завесы, создающие водовоздушную смесь с каплями 10-50 мкм. Для этого используют туманообразователи с регулируемой дисперсностью. На базе эжекторов и оросителей создаются лабиринтно-тканевые завесы (например, установки АПУ-250, АПУ-245), включающие коллектор для всасывания, трубопровод, вентилятор и фильтры.

Шахтная вентиляция используется для подавления пылевых аэрозолей. Скорость воздушных потоков в подготовительных выработках составляет 0,5-0,7 м/с, а в очистных – 1,3-2,0 м/с. Нисходящее проветривание (особенно при механической добыче) обеспечивает лучшую пылевую обстановку для рабочих мест выше источника пыли. Однако при таком проветривании запыленность воздуха вблизи источника может достигать предельных значений. Раздельное расположение воздуховодов и защита рабочих свежим воздухом обеспечивают оптимальную вентиляцию.



Принцип работы водовоздушного эжектора: 1 – форсунка; 2 – вода; 3 – запыленный воздух; 4 – шламовидная смесь

Operating principle of the water-air ejector: 1 – nozzle; 2 – water; 3 – dusty air; 4 – mud-like mixture

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Применение водяных и сланцевых заслонов не всегда неэффективно. Решение проблемы защиты угольных шахт от взрывов связано с успехами исследований по созданию активных, действующих автоматических средств локализации взрывов газов и угольной пыли. Наибольшие надежды связаны с освоением автоматической системы взрывоподавления АСВП-ЛВ (Россия), которая обеспечила локализацию взрыва газа и угольной пыли на расстоянии не более 300 м без значительного ущерба. Применение сланцевой защиты угольных шахт малоэффективно и бесперспективно, потому что сланцевые и водяные заслоны свои функции не выполняют. Основу комплекса будущего должны составить: система мониторинга процесса накопления пыли, автоматические системы пылеподавления и автоматические системы подавления и локализации взрывов ингибиторами.

ВЫВОДЫ

1. Традиционные технологии пылеподавления не обеспечивают снижения запыленности воздуха до предельно допустимых значений, поэтому должны быть модернизированы.

2. Технологии разработки опасных по газу и пыли угольных месторождений должны ориентироваться на применение автоматизированных систем защиты.

3. Ближайшей перспективой совершенствования защитных технологий является комбинирование возможностей средств пылегазовой защиты с традиционной шахтной вентиляцией.

Список литературы • References

1. Skeeba V.Yu., Ivancivsky V.V. Numerical simulation of temperature field in steel under action of electron beam heating Source. *Key Engineering Materials*. 2016;(712):105-111. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.712.105.
2. Ardashkin I.B., Yakovlev A.N. Evaluation of the resource efficiency of foundry technologies: Methodological aspect. *Advanced Materials Research*. 2014;(1040):912-916. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.912.
3. Martirosyan A., Ilyushin Y., Afanaseva O., Kukharova T., Asadulagi M., Khloponina V. Development of an Oil Field's Conceptual Model. *International Journal of Engineering*. 2025;38(2):381-388. DOI: 10.5829/ije.2025.38.02b.12.
4. Kukharova T., Martirosyan A., Asadulagi M.-A., Ilyushin Y. Development of the Separation Column's Temperature Field Monitoring System. *Energies*. 2024;(17):5175. https://doi.org/10.3390/en17205175.
5. Polekhina V.S., Shestopalov M.Y., Ilyushin Y.Y. Identification of Magnetic Field Strength Realisation as a Necessary Solution for High-Quality Metal Synthesis (2022) Proceedings of the 2022 Conference

of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, pp. 831-833. https://doi.org/10.1109/ElConRus54750.2022.9755649.

6. Gladkov A., Kukartsev V., Kozlova A., Grigorev D. Development of Requirements for AIS Aimed at Controlling High Turnover. 2023 IEEE International Conference on Computing, ICOCO 2023. https://doi.org/10.1109/ICOCO59262.2023.10397670.
7. Chumakov N.A., Zakharov A.A. Some Issues of Modern Career Guidance. Proceedings of 2018 17th Russian Scientific and Practical Conference on Planning and Teaching Engineering Staff for the Industrial and Economic Complex of the Region, PTES 2018, N 8604189, pp. 156-158. https://doi.org/10.1109/PTES.2018.8604189.
8. Kukartsev V.A., Trunova A.I., Kukartsev V.V., Tynchenko V.S., Kurashkin S.O., Tynchenko Ya.A., Vivián I.F., Bashmur K.A. Increasing the Efficiency of Synthetic Iron Production by the Use of New Kit Lining. *Metals*. 2023;13(7):1184. https://doi.org/10.3390/met13071184.
9. Nikulin A.N., Krasnoukhova D.Y., Stepanova L.V., Burlov V.G., Gomazov F.A. Organizational and technical measures to reduce the value of industrial noise on the underground coal miners. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(6-1):157-173. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-61-0-157.
10. Pashkov E.N. An investigation into autobalancing devices with multireservoir system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2014;66(1):012014. https://doi.org/10.1088/1757-899X/66/1/012014.
11. Gridina E.B., Kovshov S.V., Iurevich V.A., Borovikov D.O. Safety improvement in open-pit mines with challenging mining conditions through upgrading avalanche prevention measures. *Acta Montanistica Slovaca*. 2024;29(1):145-154. DOI: 10.46544/AMS.v29i1.13.
12. Kukartsev V.V., Kravtsov K.I., Tynchenko Ya.A., Panfilova T.A. Influence of mountain factors on salt excess and soil toxicity in mountain conditions. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(3):784-797. https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-3-784-797.
13. Tumanov M.V., Chumakov N.A., Kiseleva O.A. Analysis of the relationship between the professionally important qualities of a specialist and the safety of technological processes in metallurgy. Bezopasnost'Truda v Promyshlennosti. 2021;(5):88-93. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-5-88-93.
14. Sokolov A.A., Orlova L.G., Bashmur K.A., Kuzmich R.I., Kukartsev V.V. Ensuring uninterrupted power supply to mining enterprises by developing virtual models of different operation modes of transformer substations. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11):278-291. https://doi.org/10.25018/0236-1493-2023-111-0-278.
15. Kozlova A., Kukartsev V., Melnikov V., Kovalev G., Stashkevich A. Finding dependencies in the corporate environment using data mining. *E3S Web of Conferences*. 2023;(431):05032. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343105032.
16. Afanasyeva O., Afanasyev M., Neyrus S., Pervukhin D., Tukeev D. Information and Analytical System Monitoring and Assessment of the Water Bodies State in the Mineral Resources Complex. *Inventions*. 2024; 9(6):115. https://doi.org/10.3390/inventions9060115.
17. Degtyareva K., Ageev D.A., Kukartsev V.V. Finding patterns in employee attrition rates using self-organizing Kohonen maps and decision trees. 2023, Proceedings of the 2023 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems, ICSES 2023. https://doi.org/10.1109/ICSES60034.2023.10465548.
18. Vasileva V., Kukartsev V., Suprun E., Shalaeva D., Ageev D. Integration of automated information systems and architectural solutions in industrial enterprises. E3S Web of Conferences. 2023;(458):09021. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345809021.
19. Afanaseva O.V., Bezyukov O.K., Ignatenko A.A. Method for assessing the relationship between the characteristics of vibroactivity and the design parameters of a marine diesel. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*. 2024;22(1):68-75.
20. Akzharkyn I., Yelemessov K., Baskanbayeva D., Konyukhov V.Y., Oparina T.A. Strengthening Polymer Concrete with Carbon and Basalt Fibres. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2024;14(17):7567. DOI: 10.3390/app14177567.
21. Kuandykov T.A., Karmanov T.D., Kuldeyev E.I., Yelemessov K.K., Kaliev B.Z. New technology of uncover the ore horizon by the method of in-situ leaching for uranium mining. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2022;(3):142-154. DOI: 10.32014/2022.2518-170X.186.
22. Yelemessov K., Nauryzbayeva D., Bortebayev S., Baskanbayeva D., Chubenko V. Efficiency of application of fiber concrete as a material for manufacturing bodies of centrifugal pumps. *E3S Web of Conferences*. 2021;(280):07007. DOI: 10.1051/e3sconf/202128007007.

Authors Information

Panfilova T.A. – PhD (Engineering), Department of Technological Machines and Equipment of Oil and Gas Complex, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, e-mail: t_pan80@mail.ru

Tynchenko Ya.A. – Laboratory of Biofuel Compositions, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, e-mail: t080801@yandex.ru

Tynchenko V.S. – Doctor of Engineering Sciences, Department of Technological Machines and Equipment of Oil and Gas Complex, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, e-mail: va-dimond@mail.ru

Kravtsov K.I. – Center for Continuing Education, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: rhfdwjdr1@gmail.com

Tynchenko V.V. – PhD (Engineering), Department of Program Engineering, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, e-mail: 051301@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 29.01.2025
Поступила после рецензирования: 16.04.2025
Принята к публикации: 26.04.2025

Paper info

Received January 29, 2025
Reviewed April 16, 2025
Accepted April 26, 2025