

Оценка влияния пульсирующей вентиляции на пылеосаждение орошением в горнодобывающем и перерабатывающем производстве

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-11-120-124>

ФИЛИН А.Э.

Доктор техн. наук,
профессор кафедры НИТУ МИСИС,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: aleks_filin@bk.ru

КУРНОСОВ И.Ю.

Старший преподаватель
НИТУ МИСИС,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: kurnosovilya@yandex.ru

ТЕРТЫЧНАЯ С.В.

Канд. техн. наук,
доцент кафедры НИТУ МИСИС,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: tertychnaia.sv@misis.ru

КОЛЕСНИКОВА Л.А.

Канд. экон. наук,
доцент кафедры НИТУ МИСИС,
119049, г. Москва,
ФГБОУ ВО «Российский
экономический университет
имени Г.В. Плеханова»,
117997, г. Москва, Россия,
e-mail: luzu@yandex.ru

Создание компонентов железорудного концентрата на начальной стадии смешивания сопровождается образованием взвешенных частиц как рудничной пыли, так и пыли подготавливаемых компонентов железорудного концентрата. Данный процесс представляет серьезную проблему с точки зрения безопасности и здоровья работников, занятых на производстве, а также для сохранности оборудования. Для решения этой проблемы используют различные методы снижения запыленности воздуха, такие как установка фильтров, систем вентиляции и другие технологические решения. Применение пульсирующей вентиляции может быть эффективным способом борьбы с рудничной пылью агломерационного производства. Совместное использование пульсирующей вентиляции и жидкостного орошения позволит более эффективно улавливать и осаждать пыль при пересыпе рудничных компонентов, тем самым снижая риск поломки оборудования, заболеваний у работников и повышая безопасность производства по пылевому фактору.

В настоящей статье приведен описание и результаты эксперимента по осаждению пыли. Поскольку орошение жидкостным аэрозолем применяется на горнодобывающих производствах, для последующего сравнения были проведены эксперименты по осаждению пыли с применением жидкостного орошения и пульсирующей вентиляции. В результате проведения эксперимента было определено время осаждения пыли при орошении и время осаждения пыли при совместном использовании орошения и пульсирующей вентиляции, а для определения эффективности экспериментального метода пылеосаждения были построены зависимости средних концентраций пыли при различных условиях.

Ключевые слова: моделирование, рудничная пыль, пыль продуктов подготовки железорудного концентрата, пульсирующая вентиляция, жидкостное орошение, массоперенос, эксперимент по осаждению, жидкостный аэрозоль, пылевая аэрозоль.

Для цитирования: Оценка влияния пульсирующей вентиляции на пылеосаждение орошением в горнодобывающем и перерабатывающем производстве / А.Э. Филин, И.Ю. Курносов, С.В. Тertyчная и др. // Уголь. 2023. № 11. С. 120-124. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-120-124.

ВВЕДЕНИЕ

В качестве борьбы с загрязнением пылью на горно-металлургических предприятиях применяются разные способы и методы, включая использование систем вентиляции, фильтров, циклонов, а также систем пылеулавливания, пыле-

осаждения и пылеудаления [1, 2, 3]. Дополнительно могут применяться такие методы, как распыление жидкостного аэрозоля (в том числе и с применением ПАВ), пены, и др. Важно отметить, что эффективность этих мер по борьбе с пылью зависит от нескольких факторов, включая характеристики производственных процессов, тип используемого оборудования, конструктивные особенности помещений и другие факторы. Регулярная чистка и техническое обслуживание оборудования для минимизации выбросов пыли оказывают положительное влияние на производительность оборудования и повышают эффективность осаждения пыли [4]. Комплексное применение этих мер и комбинация различных методов и технологий [5] могут способствовать достижению максимальной эффективности в снижении запыленности воздуха в производственных зонах горнодобывающих [6] и металлургических предприятий [7, 8, 9].

Применение пульсирующей вентиляции может быть эффективным способом управления массопереносом аэрозолей и снижения запыленности в воздухе, однако на практике применение традиционного комплекса мероприятий по обеспыливанию воздуха производственной зоны все еще является основным способом снижения концентрации пыли в воздухе до предельно допустимого значения. Разработка новых и более эффективных методов снижения запыленности воздуха в горно-металлургической сфере является важной научной задачей, которая может быть решена путем сочетания различных технологий и инновационных подходов [1, 10, 11].

Поскольку эффективность метода пульсирующей вентиляции, применяющейся для удаления метана из шахт, а также для контроля массопереноса аэрозолей в различных отраслях промышленности, была доказана ранее, идея применения этого метода для осаждения рудничной пыли может быть весьма перспективной, так как пульсирующая вентиляция позволяет улучшить эффективность осаждения за счет искусственного создания интенсивных турбулентных потоков, способствующих осаждению частиц пыли [12]. Однако, как и любой метод, он требует дополнительного исследования и оптимизации под конкретные условия производства.

Для исследования данного метода была исследована возможность применения метода пульсирующей вентиляции для осаждения пыли компонентов подготовки железорудного концентрата и была создана экспериментальная база для моделирования процессов осаждения пыли. Для этого были проведены эксперименты по осаждению пыли и пылеводяного аэрозоля для определения начальных условий эксперимента, а затем проводились эксперименты по осаждению пыли продуктов подготовки железорудного концентрата с применением пульсирующей вентиляции и орошения [12]. Результаты экспериментов были определены и описаны в данной статье.

СХЕМА И ПАРАМЕТРЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проведения эксперимента по осаждению пыли продуктов подготовки железорудного концентрата была разработана лабораторная установка (рис. 1).

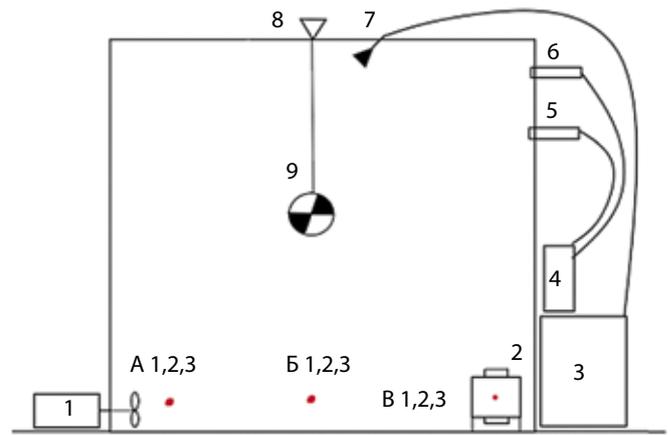


Рис. 1. Лабораторная установка для осаждения пыли со схемой проведения эксперимента: 1 – генератор воздушного потока; 2 – Аэрокон-П; 3 – генератор тумана; 4 метеометр; 5 – датчик влажности; 6 – датчик температуры; 7 – форсунка; 8 – засыпная воронка; 9 – воздушный пульсатор

Fig. 1. Laboratory setup for dust deposition with the experiment layout: 1 – air flow generator; 2 – Aerocon-P; 3 – fog generator; 4 meteorological meter; 5 – humidity sensor; 6 – temperature sensor; 7 – nozzle; 8 – filling hopper; 9 – air pulser

В качестве прибора для измерения осаждения пыли использовался измеритель массовой концентрации аэрозольных частиц АЭРОКОН-П, предназначенный для измерения массовой концентрации пыли различного происхождения и химического состава. Поскольку эксперименты по осаждению пыли и пылеводяного аэрозоля проводились ранее (схема проведения эксперимента представлена на рис. 1 и подробно описана в предыдущих исследованиях), требовалось изучить процесс массопереноса пылеводяного аэрозоля совместно с применением метода пульсирующей вентиляции.

Для изучения процесса осаждения пыли продуктами подготовки компонентов железорудного концентрата была создана лабораторная установка (см. рис. 1).

Для измерения массовой концентрации аэрозольных частиц использовался прибор АЭРОКОН-П, который предназначен для измерения массовой концентрации пыли различного происхождения и химического состава. Поскольку ранее были проведены эксперименты по осаждению пыли и пылеводяного аэрозоля (схема проведения эксперимента представлена на рис. 1 и подробно описана в предыдущих исследованиях), было необходимо изучить процесс массопереноса пылеводяного аэрозоля с применением метода пульсирующей вентиляции [10].

В качестве устройства, моделирующего пульсирующую вентиляцию, был сконструирован пульсатор (рис. 1, 9), представляющий собой полимерную трубу диаметром $D = 100$ мм и длиной $l = 570$ мм. Площадь сечения данной трубы составляет $S = 7,8 \cdot 10^{-3}$ м². С одной стороны трубы находится вентилятор, подающий воздух со скоростью – 5 м/с (расход воздуха $L = 104$ м³/ч), а с другой – пульсатор. Пульсатор имеет в своей конструкции подвижный и статичный сегменты. Статичный сегмент имеет отвер-

стие площадью $S = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, а подвижный сегмент вращается с частотой от $\nu = 168\text{-}191 \text{ об./мин}$ при медленном режиме и от $\nu = 2300\text{-}2851 \text{ об./мин}$ при скоростном режиме. Схема работы пульсатора представлена на рис. 2.

Размеры частиц пыли, применяемой в эксперименте по осаждению, находятся в диапазоне от 1 до 40 мкм в соответствии с гранулометрическим анализом, проведенным в предыдущих исследованиях. Эксперимент по осаждению пылеводяного аэрозоля с применением метода пульсирующей вентиляции также проводился, исходя из данного анализа. Навеска пыли продуктов подготовки компонентов железорудного концентрата, используемая в экспериментах по осаждению пылеводяного аэрозоля с применением метода пульсирующей вентиляции, составляет $m = 5 \text{ г}$ [12].

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОСАЖДЕНИЮ ПЫЛЕВОДЯНОГО АЭРОЗОЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

При проведении эксперимента по осаждению пыли с применением пульсирующей вентиляции также учитываются параметры микроклимата, использующиеся в предшествующих экспериментах, и параметры пульсатора, описанного выше. Согласно проведенным экспериментам по осаждению пылеводяного аэрозоля пульсирующей вентиляцией удалось установить параметры пульсатора, позволяющие получить увеличение эффективности метода пылеосаждения орошением:

- скорость движения воздуха в воздуховоде пульсатора $V_n = 5 \text{ м/с}$;
- частота вращения лопастей подвижного сегмента пульсатора $\nu = 191 \text{ об./мин}$;

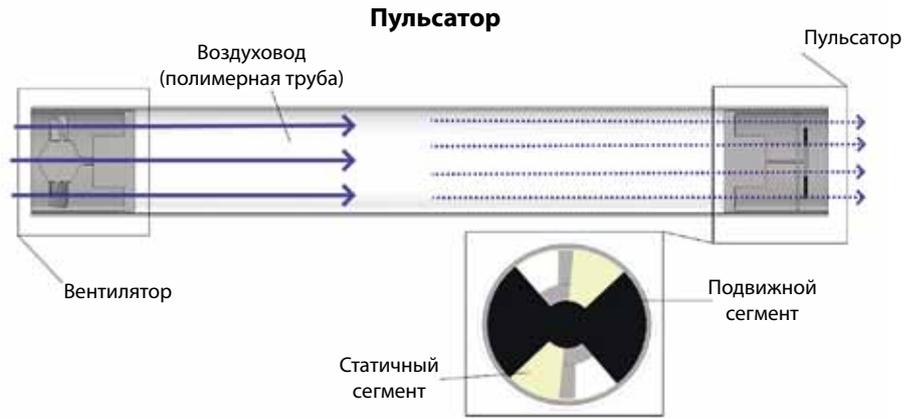


Рис. 2 Схема работы пульсатора, используемого в эксперименте
Fig. 2. Schematic operation diagram of the pulsator used in the test

– площадь воздушных проемов пульсатора $S_{в.п.} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Согласно описанным выше параметрам были получены значения концентрации при использовании двух форсунок. Однако при увеличении дисперсности частиц распыляемой жидкости (с 10 до 15 мкм) наблюдалось увеличение времени осаждения пылеводяного аэрозоля под воздействием пульсирующей вентиляции, когда при использовании форсунки меньшего диаметра (10 мкм) время осаждения пыли методом пульсации снижалось. Результаты проведенного эксперимента были сформированы в графики зависимостей и представлены на рис. 3.

Согласно рис. 3 среднее значение времени осаждения орошенной пыли с использованием пульсатора $t = 960 \text{ с}$. Разница во времени осаждения между двумя способами пылеосаждения составляет 155 с. Эффективность данного метода относительно традиционного метода пылеосаждения – 8%.

Для анализа проведенных экспериментов графики зависимости изменения концентрации пыли от проведенных ранее экспериментов были усреднены и наложены друг на друга. Сводный график изменения средних значений концентраций пыли от времени в условиях пылеосаждения, применения орошения (форсунка $d = 10 \text{ мкм}$) и режима пульсирующей вентиляции приведен на рис. 4.

Согласно графику, приведенному на рис. 4, средние значения времени осаждения пыли, пылеосаждения орошением и пылеосаждения орошением с применением пульсирующей вентиляции составляет $t = 1828 \text{ с}$, $t = 1115 \text{ с}$ и $t = 960 \text{ с}$ соответственно. Эффективность метода пылеосаждения пылеводяного аэрозоля относительно самостоятельного осаждения пыли составляет 40%, а эффективность пылеосаждения орошением с применением пульсирующей вентиляции – 48%.

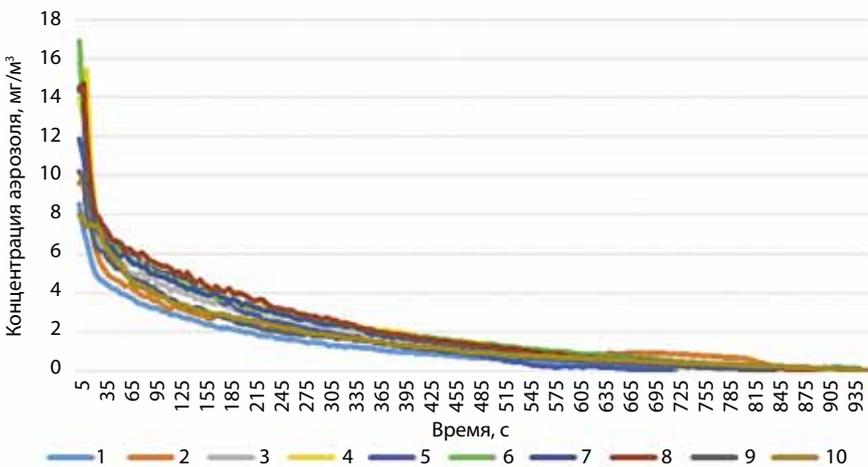


Рис. 3. График изменения концентрации пыли от времени при орошении (форсунка 10 мкм) совместно с пульсирующей вентиляцией
Fig. 3. Graph of changes in dust concentration versus time with irrigation (10 μm nozzle) combined with pulsating ventilation

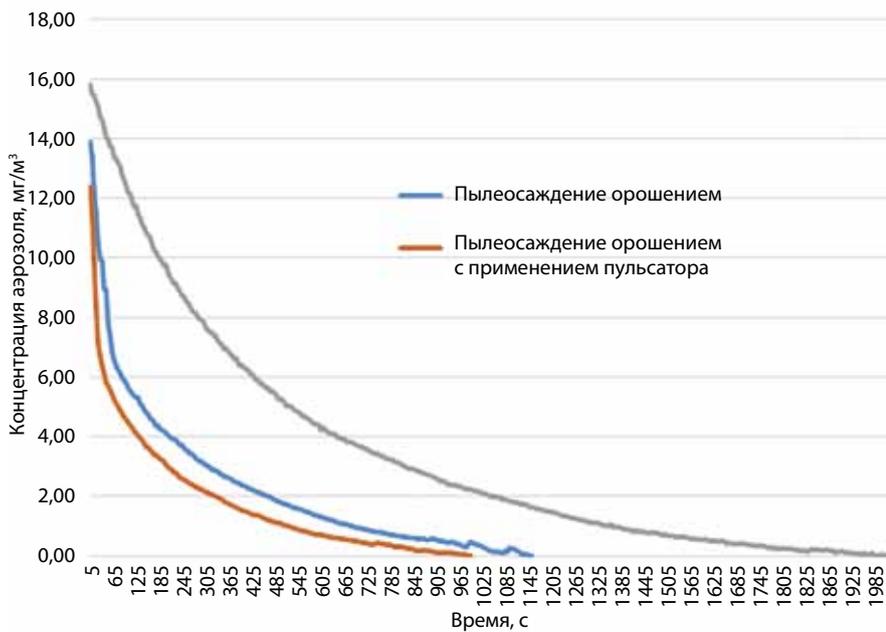


Рис. 4. График изменения концентраций пыли от времени в условиях пылеосаждения, применения орошения (форсунка 10 мкм) и режима пульсирующей вентиляции

Fig. 4. Graph of changes in dust concentrations versus time in conditions of dust deposition, with application of irrigation (10 μm nozzle) and pulsating ventilation mode

ВЫВОДЫ

Согласно проведенным экспериментам по пылеосаждению было определено время осаждения пыли в лабораторном стенде при осаждении пылеводяного аэрозоля с использованием метода пульсирующей вентиляции. Исходя их предыдущих экспериментов, также определены начальные параметры микроклимата внутри лабораторного стенда (влажность воздуха $\varphi = 25-30\%$; температура воздуха $T = 22-25^\circ\text{C}$; скорость движения воздуха (генератор воздушного потока) $v = 4 \text{ м/с}$) и установки по орошению (форсунки диаметром $d = 10$ и $d = 15$ мкм; рабочее давление в системе подачи жидкости $p = 5,4 \text{ МПа}$; время распыления жидкостного аэрозоля $t = 2$ мин).

Зафиксированы параметры пульсатора, использующегося при осаждении пылеводяного аэрозоля:

- скорость движения воздуха внутри воздуховода, подающегося на пульсатор – $v_{\text{п}} = 5 \text{ м/с}$;
- расход воздуха, проходящего через пульсатор $L = 104 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- частота вращения подвижного сегмента пульсатора $v = 191 \text{ об./мин}$;
- площадь воздушных проемов пульсатора $S_{\text{в.п.}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;
- диаметр воздушного проема пульсатора $D = 100 \text{ мм}$;
- длина трубы пульсатора $l = 570 \text{ мм}$.

При обработке данных экспериментов построены графики зависимостей усредненных значений концентрации пыли при осаждении пылеводяного аэрозоля с применением пульсирующей вентиляции. Согласно графикам, из настоящих и предыдущих исследований эффективность пылеосаждения с применением жидкостного орошения с форсункой $d = 10$ мкм относительно процесса самоосаждения пыли ($t = 30,5$ мин) составляет 40% (18,5 мин),

однако при использовании установки пульсирующей вентиляции эффективность осаждения составляет уже 48% ($t = 16$ мин), что доказывает актуальность применения пульсирующей вентиляции для процессов осаждения пыли продуктов подготовки компонентов железорудного концентрата.

Основываясь на проведенных экспериментах, можно предположить, что время пылеосаждения, а вместе с тем и эффективность данного процесса могут зависеть от расхода воздуха, подаваемого в воздухопровод пульсатора. Следовательно, при увеличении расхода воздуха увеличивается эффективность пылеосаждения при описанных выше условиях. Для подтверждения данной теории будут проводиться дальнейшие эксперименты по изучению данного процесса.

Список литературы

1. Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Научно обоснованные технологические решения по снижению аэрологических рисков на действующих и проектируемых угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 2. С. 139–151. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-2-0-139.
2. Родионов В.А., Карпов Г.Н., Лейсле А.В. Методологический подход к оценке взрывопожароопасных свойств сульфидсодержащих полиметаллических руд // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 6-1. С. 198-213. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-6-1-0-198.
3. Управление экологическими рисками на горнодобывающих предприятиях / О.М. Зиновьева, Л.А. Колесникова, А.М. Меркулова и др. // Уголь. 2022. № 3. С. 76-80. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-76-80.
4. Обеспечение пылевзрывобезопасности подземных горных выработок в угольных шахтах: методы и современные тенденции / А.В. Корнев, А.А. Спицын, Г.И. Коршунов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 3. С. 133-149. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-3-0-133.
5. Куликова Е.Ю., Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Комплексная оценка геотехнических рисков в шахтном и подземном строительстве // Устойчивое развитие горных территорий. 2023. Т. 15. № 1. С. 7–16. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-7-16.
6. Курносов И.Ю. Оценка влияния параметров орошения на скорость пылеосаждения в горных выработках // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 3. С. 150–162. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-3-0-150.
7. Казюта В.И. Очистка газов ферросплавных печей в рукавных фильтрах // Сталь. 2022. № 4. С. 51-61.
8. Калимулина Е.Г., Темников В.В. Утилизация пылей аспирации сталеплавильного производства в АО «ЕВРАЗ НТМК» // Черные металлы. 2018. № 7. С. 38-40.

9. Andrew B. Cecala, Andrew D. O'Brien. Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2015. 312 p.
10. Развитие пульсирующей вентиляции в горном производстве / А.Э. Филин, Т.И. Овчинникова, О.М. Зиновьева и др. // Горный журнал. 2020. № 3. С. 67-71. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.13.
11. Analysis of strength and eigenfrequencies of a steel vertical cylindrical tank without liquid, reinforced by a plain composite thread / Timur Tursunkululy, Nurlan Zhangabay, Ulanbator Suleimenov et al. // Case Studies in Construction Materials. 2023. 18. e02019. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e02019.
12. К вопросу моделирования процесса осаждения пыли для условий угольной шахты / А.Э. Филин, И.Ю. Курносов, Л.А. Колесникова и др. // Уголь. 2022. № 9. С. 67-72. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-9-67-72.

MINE VENTILATION

Original Paper

UDC 622.411.5 © A.E. Filin, I.Yu. Kurnosov, S.V. Tertychnaya, L.A. Kolesnikova, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 11, pp. 120-124
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-11-120-124>

Title
ASSESSMENT OF THE EFFECT OF PULSED VENTILATION ON IRRIGATION DUST DEPOSITION IN MINING AND PROCESSING PRODUCTION

Authors

Filin A.E.¹, Kurnosov I.Yu.¹, Tertychnaya S.V.¹, Kolesnikova L.A.^{1,2}

¹ Federal National Independent Educational Institution of Higher Education "National University of Science and Technology MISIS" (NUST MISIS), Moscow, 119049, Russian Federation

² Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, 117997, Russian Federation

Authors Information

Filin A.E., Doctor of Engineering Sciences, Professor, e-mail: aleks_filin@bk.ru

Kurnosov I.Yu., Senior lecturer, e-mail: kurnosovilya@yandex.ru

Tertychnaya S.V., PhD (Engineering), Associate professor,

e-mail: tertychnaia.sv@misis.ru

Kolesnikova L.A., PhD (Economic), Associate professor,

e-mail: luzu@yandex.ru

Abstract

The creation of components for iron ore concentrate during the initial mixing stage is accompanied by the formation of suspended particles, including both mining dust and dust from prepared components of the iron ore concentrate. This process poses a significant challenge in terms of safety and health for workers involved in the production, as well as equipment integrity. Various methods are employed to mitigate airborne dust, such as the installation of filters, ventilation systems, and other technological solutions.

The application of pulsating ventilation can be an effective method to combat dust in agglomeration mining. The combined use of pulsating ventilation and liquid spraying allows for more efficient dust capture and deposition during the transfer of mining components, thereby reducing the risk of equipment breakdown, worker illnesses, and improving production safety in relation to dust-related factors.

This article presents a description and the results of a dust deposition experiment. Since liquid aerosol spraying is used in mining operations, experiments were conducted to compare dust deposition with liquid spraying and pulsating ventilation. The experiment determined the dust deposition time for spraying and the combined use of spraying and pulsating ventilation. To assess the effectiveness of the experimental dust deposition method, average dust concentration dependencies were constructed under various conditions.

Keywords

Modeling, Mining dust, Dust from prepared components of iron ore concentrate, Pulsating ventilation, Liquid spraying, Mass transfer, Dust deposition experiment, Liquid aerosol, Dust aerosol.

References

1. Balovtsev S.V., Skopintseva O.V. Science-based technological solutions for aerological risks reducing in operating and designing coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2023;(2):139-151. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-2-0-139.
2. Rodionov V.A., Karpov G.N. & Leisle A.V. Methodological approach to the need to assess the explosion and fire hazard properties of sulfide-containing polymetallic ores. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2022;(6-1):198-213. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-61-0-198.

3. Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A., Merkulova A.M. & Smirnova N.A. Environmental risk management at mining enterprises. *Ugol'*, 2022, (3), pp. 76-80. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-76-80.

4. Kornev A.V., Spitsyn A.A., Korshunov G.I. & Bazhenova V.A. Preventing dust explosions in coal mines: Methods and current trends. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2023;(3):133-149. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-3-0-133.

5. Kulikova E.Yu., Balovtsev S.V. & Skopintseva O.V. Complex estimation of geotechnical risks in mine and underground construction. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2023;15(1):7-16. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-7-16.

6. Kurnosov I.Y. Effect of operational parameters of spraying on dust suppression rate in roadways. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2023;(3):150-162. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-3-0-150.

7. Kaziuta V.I. Clearing ferroalloy furnaces gases in bag filters. *Stal*, 2022, (4), pp. 51-61. (In Russ.).

8. Kalimulina E.G. & Temnikov V.V. Utilization of aspiration dusts in steelmaking production at "EVRAZ NTMK" JSC. *Chernye metally*, 2018, (7), pp. 38-40. (In Russ.).

9. Andrew B. Cecala & Andrew D. O'Brien. Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015, 312 p.

10. Filin A.E., Ovchinnikova T.I., Zinovieva O.M. & Merkulova A.M. Advance of pulsating ventilation in mining. *Gornyi Zhurnal*, 2020, (3), pp. 67-71. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.13. (In Russ.).

11. Timur Tursunkululy, Nurlan Zhangabay, Ulanbator Suleimenov, Khassen Abshenov, Akmaral Utebayeva, Arman Moldagaliev, Alexandr Kolesnikov, Zhansaya Turashova, Galymzhan Karshyga & Pavel Kozlov. Analysis of strength and eigenfrequencies of a steel vertical cylindrical tank without liquid, reinforced by a plain composite thread. *Case Studies in Construction Materials*, 2023, (18), e02019. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e02019.

12. Filin A.E., Kurnosov I.Yu., Kolesnikova L.A., Ovchinnikova T.I. & Kolesnikov A.S. description of the methodology for conducting an experiment on dust deposition of mining and metallurgical production. *Ugol'*, 2022, (9), pp. 67-72. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-9-67-72.

For citation

Filin A.E., Kurnosov I.Yu., Tertychnaya S.V. & Kolesnikova L.A. Assessment of the effect of pulsed ventilation on irrigation dust deposition in mining and processing production. *Ugol'*, 2023, (11), pp. 120-124. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-120-124.

Paper info

Received August 31, 2023

Reviewed October 13, 2023

Accepted October 26, 2023