

РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2024.3.9

ОБОБЩЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ СПОСОБОВ ПРОВЕТРИВАНИЯ ТУПИКОВОЙ ВЫРАБОТКИ КАЛИЙНОГО РУДНИКА ПО ПЫЛЕВОМУ ФАКТОРУ

М.А. Александрова, А.Г. Исаевич, А.Е. Суханов
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье представлены результаты исследований различных способов проветривания тупиковой выработки калийного рудника по пылевому фактору. Представлены результаты моделирования трех способов проветривания тупиковой выработки: нагнетательного, всасывающего и комбинированного с преобладанием всасывающего. Представлены результаты натурных замеров концентрации пыли в тупиковом забое при указанных способах проветривания тупиковой выработки. Сделан вывод о сходимости результатов моделирования и натурных замеров, а также об эффективности изменения способа проветривания тупикового забоя.

Ключевые слова: калийный рудник, способ проветривания, нагнетательный, всасывающий, комбинированный, пылевой фактор.

Введение

Производственные технологические процессы, связанные с добычей полезных ископаемых, сопровождаются выбросом загрязняющих атмосферу веществ, в том числе и пыли. Основными источниками генерации пыли являются разрушение массива горных пород исполнительными органами комбайна и пересып руды в самоходный вагон. Повышенная запыленность горных выработок калийных рудников является причиной снижения видимости в пределах рабочей зоны горнорабочих очистного забоя [7, 8]. Традиционные мероприятия по снижению концентрации пыли в воздухе, такие как орошение и предварительное увлажнение массива [10], при их использовании в борьбе с калийной пылью приводят к образованию агрессивных рассолов, вызывающих коррозию оборудования и, как следствие, его простои. Одним из вариантов решения данного вопроса является рассмотрение вентиляционного метода изменения схемы проветривания тупиковой выработки.

Ранее в исследованиях [1, 2, 3, 9, 11] уже рассматривались процессы генерации пыли и её распространения в горных выработках. В работах [4, 6] представлены результаты математического моделирования процесса проветривания тупиковой выработки при работе проходческо-очистного комбайнового комплекса при нагнетательной и всасывающей схемах проветривания. Анализ результатов данных работ говорит об эффективности применения всасывающего способа проветривания тупикового забоя в сравнении с нагнетательным способом. При этом в настоящее время, согласно п. 203 Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработки твердых полезных ископаемых», при работе проходческо-очистного комбайнового комплекса в тупиковой выработке её проветривание должно осуществляться только нагнетательным способом проветривания (или комбинированным с преобладанием нагнетательного). Стоит отметить, что нагнетательный способ проветривания характеризуется высокой турбулентностью [4], что способствует распространению пылевого облака от мест его генерации по всей камере. Согласно исследованию [12], при всасывающем способе проветривания предполагается

уменьшение размеров воздушного вихря, образующегося в призабойном пространстве выработки. Также при данном способе проветривания тупиковой выработки исходящий загрязненный воздух будет следовать не по всей длине тупиковой части выработки, а по вентиляционному трубопроводу вентилятора, работающего на «всас».

Исследование всасывающего и комбинированного способов проветривания тупиковой выработки

Для оценки возможности применения отличных от нагнетательной схем проветривания тупикового забоя рассмотрен случай проветривания забоя с использованием всасывающей и комбинированной схем проветривания. С этой целью разработана математическая модель тупиковой выработки с сечением $15,6 \text{ м}^2$ при условии работы проходческо-очистного комбайнового комплекса и скорости движения воздуха в выработке от $0,1 \text{ м/с}$ до $0,45 \text{ м/с}$. Модель построена на основе данных, полученных при натурных замерах в тупиковой выработке при работе проходческо-очистного комплекса Урал-20Р при нагнетательном способе проветривания забоя. В модели учтены характеристики располагаемого в тупиковой выработке оборудования и его технологические характеристики. Сначала производилось моделирование нагнетательного способа проветривания с использованием экспериментальных данных. Далее в модели менялся способ проветривания забоя с нагнетательного на всасывающий и комбинированный с преобладанием всасывающего. На рисунках 1-3 представлено распределение полей концентрации пыли в сечении рабочего места машиниста комбайна при скорости движения воздушного потока в выработке равного $0,1 \text{ м/с}$ и $0,45 \text{ м/с}$ при нагнетательном, всасывающем и комбинированном с преобладанием всасывающего режимах проветривания забоя.

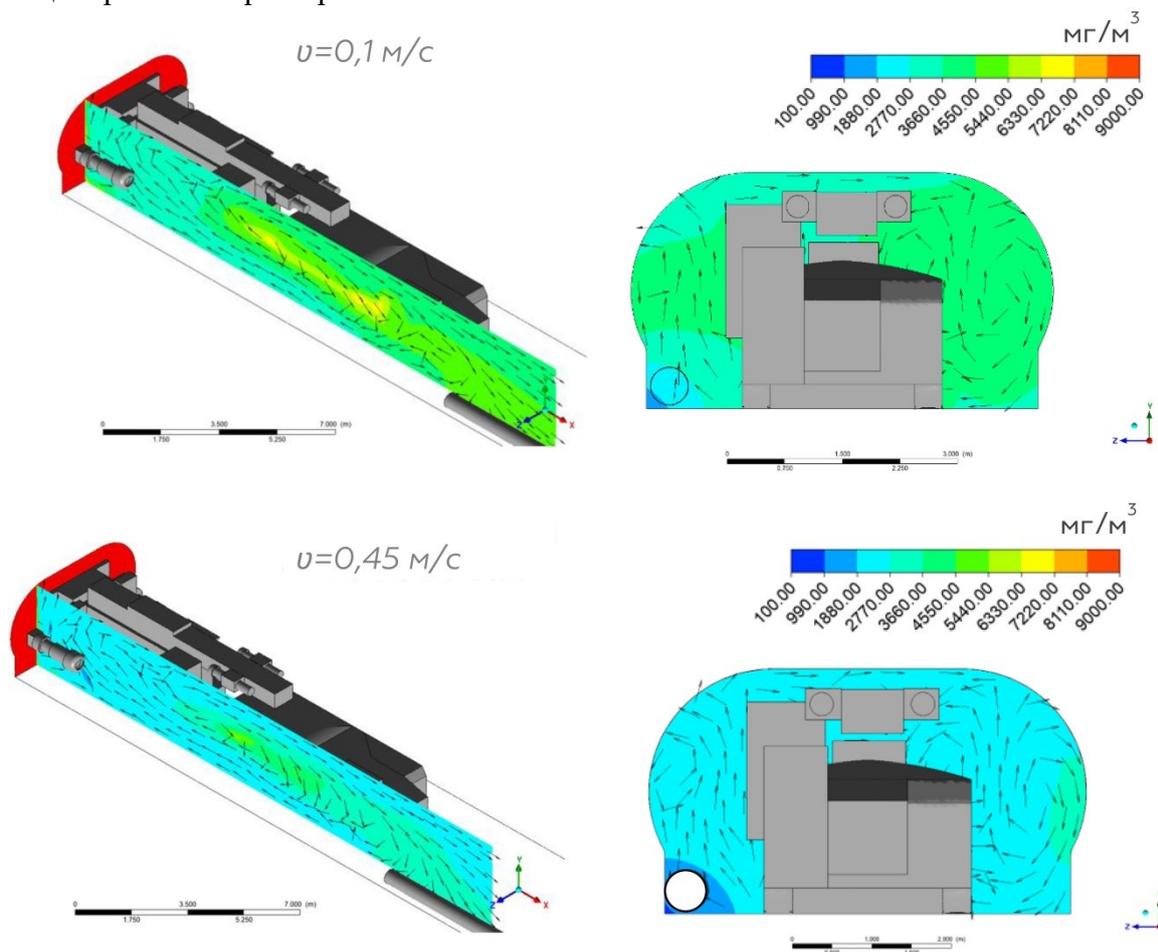


Рис. 1. Распределение полей концентрации пыли в сечении рабочего места машиниста комбайна при нагнетательном способе проветривания и скорости воздуха в выработке $0,1 \text{ м/с}$ и $0,45 \text{ м/с}$

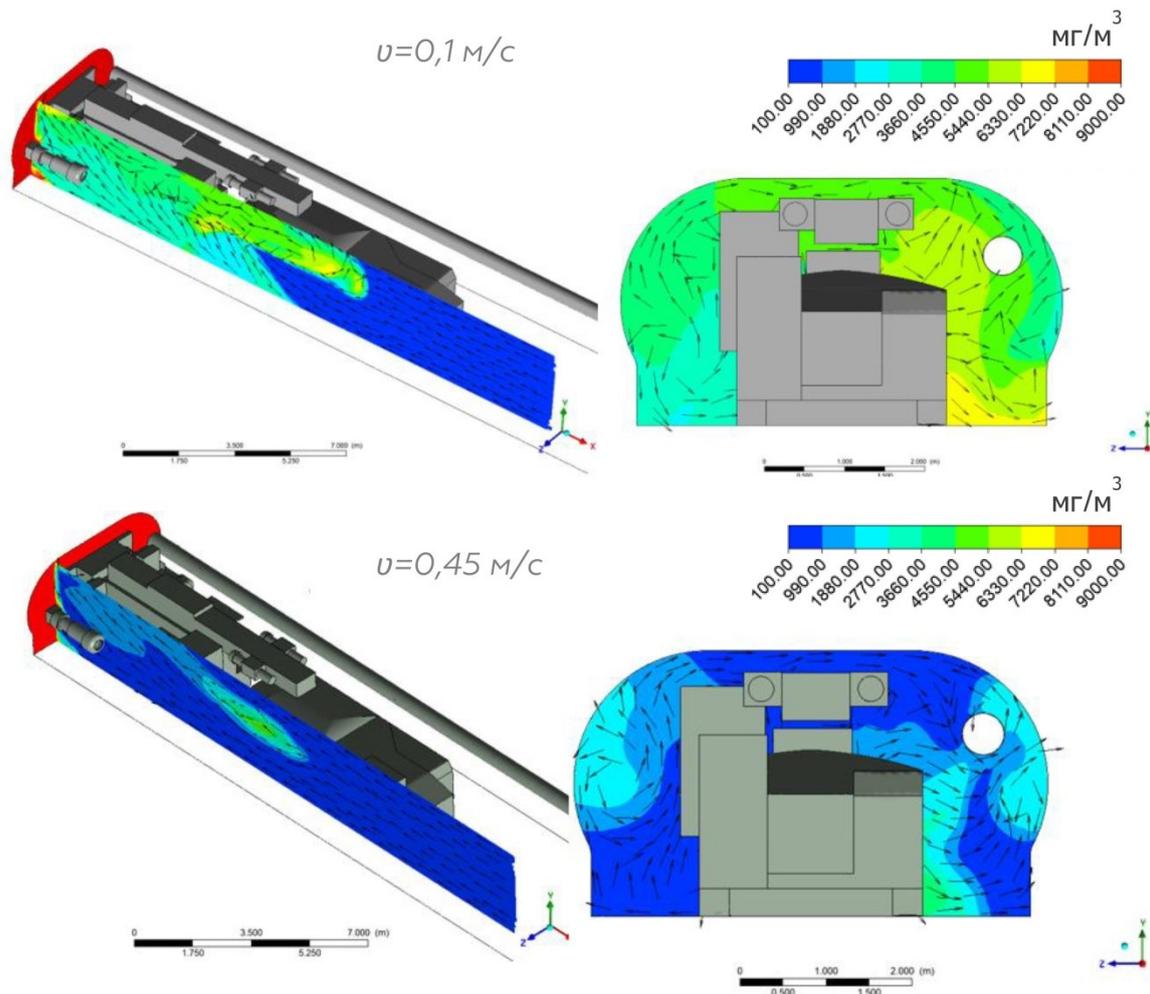


Рис. 2. Распределение полей концентрации пыли в сечении рабочего места машиниста комбайна при всасывающем способе проветривания и скорости воздуха в выработке 0,1 м/с и 0,45 м/с

Полученные результаты визуализации распределения воздушного потока дают возможность судить о движении воздушных масс в пределах тупиковой части выработки и о распределении концентрации мелкодисперсной пыли в данной части выработки. Так, при скорости воздуха в выработке, равной 0,1 м/с, при нагнетательном способе проветривания распределение пыли в тупиковой части выработки имеет однородный характер. Значения концентрации пыли в районе места работы машиниста комбайна и машиниста самоходного вагона при нагнетательной схеме проветривания изменяются в пределах 4000-5000 мг/м^3 . Всасывающий способ проветривания характеризуется меньшим значением концентрации пыли в воздухе: в рабочем месте машиниста комбайна её значение составляет порядка 3000-4000 мг/м^3 . При этом концентрации пыли в рабочем месте машиниста самоходного вагона при всасывающей схеме проветривания меньше 990 мг/м^3 . При комбинированном способе проветривания значение концентрации пыли в рабочем месте машиниста комбайна и самоходного вагона не сильно отличается от значений при нагнетательном способе проветривания. Но над самоходным вагоном наблюдаются пиковые значения концентрации пыли. Однако происходит снижение концентрации пыли после самоходного вагона в сторону устья выработки.

Иная картина при комбинированном способе проветривания получена при значении скорости воздуха в выработке 0,45 м/с. Повышение скорости воздуха способствует уменьшению размеров пылевого облака над кузовом самоходного вагона, а также снижению концентрации пыли в районе кабины машиниста комбайна. В целом по ре-

зультатам математического моделирования повышение скорости движения воздуха в выработке приводит к снижению значений концентрации пыли. Несмотря на это, при нагнетательном способе проветривания они все еще остаются высокими, порядка 2000-3000 мг/м³.

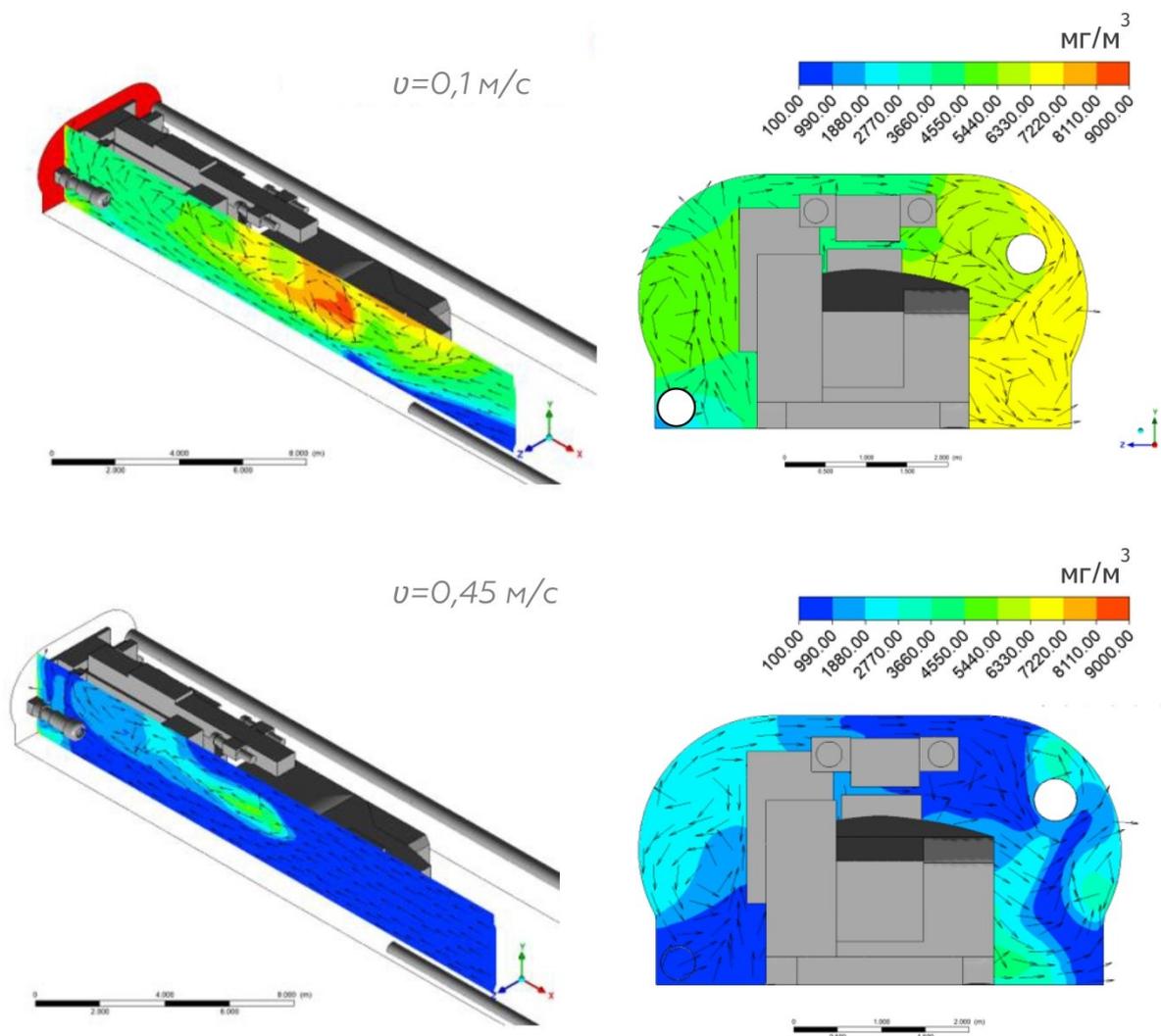


Рис. 3. Распределение полей концентрации пыли в сечении рабочего места машиниста комбайна при комбинированном с преобладанием всасывающего способе проветривания и скорости воздуха в выработке 0,1 м/с и 0,45 м/с

Для подтверждения результатов разработанной модели проведен ряд натурных замеров, выполненных при нагнетательном, всасывающем и комбинированном (с преобладанием всасывающего) способах проветривания тупиковой камеры. Замеры проводились при аналогичных условиях: при работе проходческо-очистного комбайнового комплекса в тупиковой выработке сечением 15,6 м² и скорости движения воздуха в выработке 0,1 м/с.

Измерения проводились в трех поперечных сечениях тупиковой выработки в момент отгрузки отбитой руды в самоходный вагон: 1 – поперечное сечение выработки с захватом рабочего места машиниста комбайна; 2 – поперечное сечение выработки напротив места перегруза руды в самоходный вагон; 3 – поперечное сечение выработки перед самоходным вагоном на расстоянии 30 метров от рабочего места машиниста самоходного вагона (рис. 4). В сечениях 1 и 2 замеры проводились с левой и с правой стороны (стенки) выработки. Всего в каждой точке было проведена серия из трех замеров с изменением высоты точки замера. Стоит отметить, что все замеры проводились

последовательно: сначала при нагнетательном режиме проветривания, далее был включен вентилятор, работающий на нагнетание и включен вентилятор, работающий на «всас». Последними проводились замеры при комбинированном способе проветривания. При этом результаты, полученные при нагнетательном способе проветривания, служат исходными величинами, с которыми в последующем сравниваются концентрации пыли, замеренные при других способах проветривания забоя.

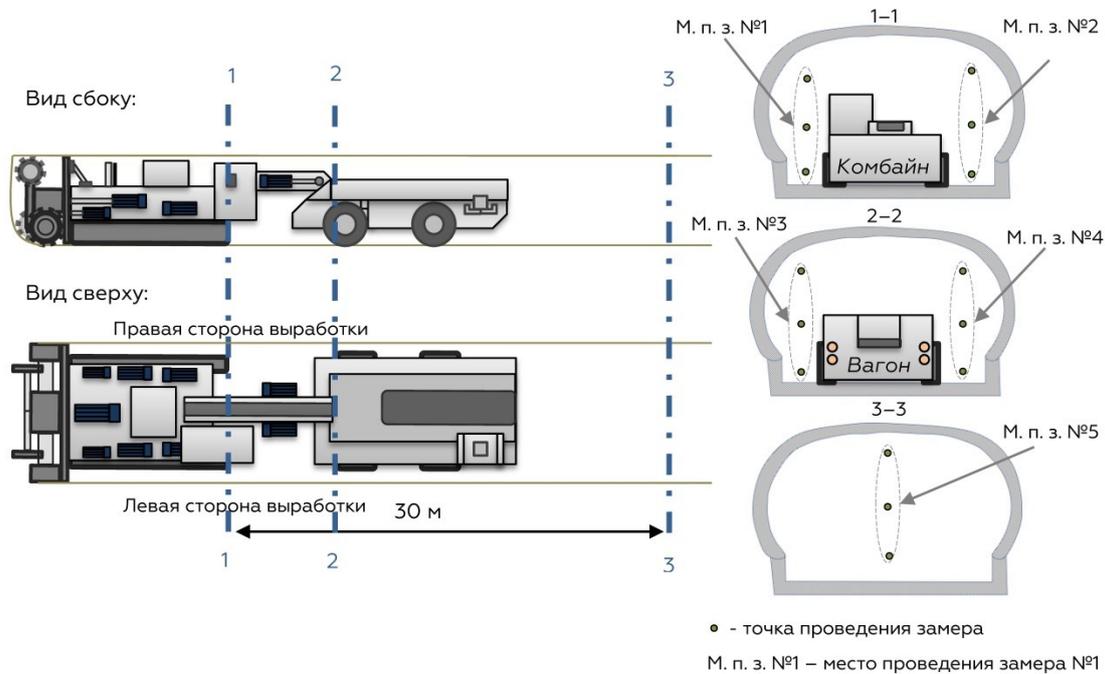


Рис. 4. Схема призабойной части тупиковой выработки с указанием мест проведения замеров концентрации пыли

По результатам измерений рассчитаны значения концентрации пыли усредненных по высоте отбора пробы экспериментальных измерений. В таблице представлены результаты этого расчета при нагнетательном, всасывающем и комбинированном с преобладанием всасывающего способах проветривания.

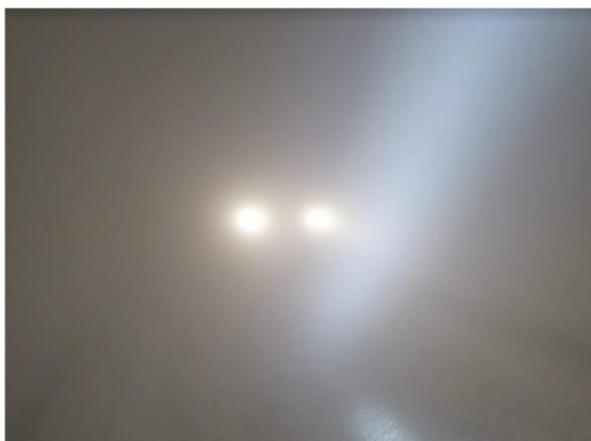
Таблица 1

Усредненные по высоте отбора пробы экспериментальных измерений концентрации пыли

Место проведения замера	Усредненное по высоте значение концентрации пыли		
	Нагнетательный	Всасывающий	Комбинированный
Место проведения замера № 1	4108 мг/м ³	3967 мг/м ³	2032 мг/м ³
Место проведения замера № 2	4507 мг/м ³	3763 мг/м ³	5894 мг/м ³
Место проведения замера № 3	3244 мг/м ³	2641 мг/м ³	2093 мг/м ³
Место проведения замера № 4	5868 мг/м ³	3189 мг/м ³	3519 мг/м ³
Место проведения замера № 5	3600 мг/м ³	321 мг/м ³	992 мг/м ³

Анализ данных, представленных в таблице выше, показывает, что наибольшее снижение концентрации пыли в районе рабочего места машиниста комбайна обеспечивается при комбинированном с преобладанием всасывающего способе проветривания тупикового забоя. По полученным значениям явно видно, что при нагнетательном способе проветривания тупикового забоя фиксировались наибольшие значения концентраций. Однако исключением из серии являются замеры, проведенные с правой стороны, в районе размещения всасывающего вентиляционного трубопровода (место проведения замера № 2), поскольку в данную зону при всасывающем и комбинированном способах проветривания стягивалась вся пыль, образованная при перегрузке руды. Таким образом наблюдалось смещение пылевого облака с рабочей зоны машиниста комбайна (левая сторона выработки) в зону «всаса» вентиляционного трубопровода (правая сторона выработки).

Максимальная разница в замеренных значениях концентрации пыли зафиксирована в 30 метрах от кабины машиниста комбайна. Усредненное значение концентрации пыли при всасывающем способе проветривания составляет 321 мг/м^3 , что в 11 раз меньше, чем при нагнетательном. Полученный результат позволяет сделать вывод об эффективности применения данного способа проветривания с целью снижения концентрации пыли в тупиковой выработке по тракту движения самоходного вагона. В свою очередь это позволит улучшить видимость в камере и повысить безопасность труда рабочих. Этот вывод подтверждают и фотографии, представленные на рисунке 5, сделанные в одной точке при разных режимах проветривания очистного забоя.



Нагнетательный способ проветривания:
концентрация пыли $\sim 4500 \text{ мг/м}^3$
скорость воздуха = $0,12 \text{ м/с}$



Всасывающий способ проветривания:
концентрация пыли $\sim 390 \text{ мг/м}^3$
скорость воздуха = $0,15 \text{ м/с}$

Рис. 5. Изменение пылевой обстановки в забое при изменении схемы проветривания тупиковой выработки

Ввиду конструктивных особенностей вентиляционного трубопровода всасывающего вентилятора при проведении экспериментальной части данного исследования не достигнута значения всего диапазона скоростей, рассматриваемых при моделировании. Несмотря на это, результаты натурных замеров, проведенных в условиях подземного рудника при скорости движения воздушного потока в выработке порядка $0,1 \text{ м/с}$, показывают хорошую сходимость с результатами математического моделирования при таких же значениях скорости. Данный результат позволяет говорить о достоверности результатов и при других рассматриваемых значениях скорости движения воздуха в выработке.

Заключение

Проведенное исследование всасывающего способа проветривания говорит о его перспективности в вопросе снижения концентрации пыли в рабочих зонах машиниста комбайна и машиниста самоходного вагона в сравнении с нагнетательным способом. Натурные замеры доказали возможность снижения концентрации пыли в выработке в 11 раз при изменении схемы проветривания забоя с нагнетательной на всасывающую. Вариант комбинированной схемы проветривания забоя с преобладанием всасывающего режима также показал высокую эффективность в вопросе нормализации пылевой обстановки в сравнении с нагнетательным способом.

Результаты испытаний показали хорошую сходимость с результатами моделирования при скорости движения воздуха в выработке 0,1 м/с. В свою очередь, это позволяет сделать вывод о достоверности результатов моделирования в остальных диапазонах скоростей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 121111800053-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исаевич А.Г., Кормщиков Д.С. Исследование пылевой обстановки в условиях калийного рудника, опыт снижения запыленности атмосферы рабочих мест // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2018. – № 4. – С. 60-74.
2. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Борьба с пылью на калийных рудниках. – М.: Недра, 1977. – 192 с.
3. Исаевич А.Г., Семин М.А., Файнбург Г.З., Александрова М.А. О неэффективности нагнетательного способа проветривания при решении задачи нормализации пылевой обстановки в тупиковом забое калийного рудника // Безопасность труда в промышленности. – 2022. – № 6. – С. 52-59. – DOI: 10.24000/0409-2961-2022-6-52-59.
4. Исаевич А.Г. Обоснование применимости всасывающего способа проветривания для нормализации пылевой обстановки // Горное эхо. – 2022. – № 1 (86). – С. 133-139. – DOI: 10.7242/echo.2022.1.21.
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: утв. 08.12.2020, № 505, действуют с 01.01.2021 г. – М.: ЗАО «НТЦ исследований проблем пром. безопасности, 2021. – 520 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03, вып. 78).
6. Isaevich A.G., Semin M., Levin L., Ivantsov A., Lyubimova T. Study on the Dust Content in Dead-End Drifts in the Potash Mines for Various Ventilation Modes // Sustainability (Switzerland). – 2022. – V. 14, № 5. – Номер статьи 3030. – DOI: 10.3390/su14053030.
7. Кобылкин А.С. Исследования пылераспределения в очистном забое у комбайна // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал): Безопасность и экология горного производства. – 2020. – № 6-1. – С. 65-73. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-65-73.
8. Gendler S.G., Rudakov M.L., Kuznetsov V.S. Evaluation principles of the dust influence of mining enterprises on the environment // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2019. – V. 56, № 3. – P. 62-69. – DOI: 10.2478/lpts-2019-0020/.
9. Ma Q., Nie W., Yang S., Xu C., Peng H., Liu Z., Guo C., Cai X. Effect of spraying on coal dust diffusion in a coal mine based on a numerical simulation // Environmental Pollution. – 2020. – V. 264. – № article 114717.
10. Справочник по борьбе с рудничной пылью / под ред. Л.И. Барона. – М., 1962. — 324 с.: ил.
11. Кобылкин А.С. Исследование распространения и осаждения частиц пыли в горных выработках, с учетом расположенного в ней оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № S32. – С. 61-66. – DOI: 10/25018/023-1493-2018-6-32-61-66.
12. Файнбург Г.З., Овсянкин А.Д., Красюк Н.Ф., Вайсман О.Я., Шалаев С.Б., Забелин А.Ю. Проветривание тупиковых комбайновых забоев калийных рудников всасывающим способом // Разработка калийных месторождений: межвуз. сб. науч. тр. / ППИ. – Пермь, 1989. – С. 153-159.