

С. А. Павлов

Моделирование процесса пылераспределения в угольной лаве при использовании струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: pavlov_s_a@inbox.ru

Аннотация. В работе представлены результаты исследования изменения уровня средней массовой концентрации угольной пыли в воздухе рабочих зон машинистов очистного механизированного комплекса, при использовании струйного осевого вентилятора, установленного на добычном комбайне. С помощью программного комплекса Ansys Fluent проведен ряд вычисленных экспериментов, моделирующих перенос пыли в потоке воздуха от источников ее генерации при передвижении добычного комбайна по очистной выработке. Выявлены зависимости изменения концентрации угольной пыли при различном направлении движения вентиляционного потока относительно хода выемки угля, с учетом работы осевого струйного вентилятора, установленного на добычном комбайне. Показано, что такой способ проветривания очистного забоя позволяет снизить среднюю массовую концентрации угольной пыли в окрестностях работающего добычного комбайна на 13,8-36,7%.

Ключевые слова: вентиляция, проветривание, забой, лава, очистной комбайн, струйный вентилятор, угольная пыль, численное моделирование

S. A. Pavlov

Simulation of the dust distribution process in coal longwall using jet fan installed on a shearer

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia
* e-mail: pavlov_s_a@inbox.ru

Abstract. The paper presents the results of a study of changes in the level of the average mass concentration of coal dust in the air of the working areas of the machinists of the cleaning mechanized complex, using a jet axial fan installed on a longwall shearer. With the help of the Ansys Fluent software package, a number of calculated experiments were carried out simulating the transfer of dust in the air stream from its generation sources during the movement of a longwall shearer in a treatment mine. The dependences of the change in the concentration of coal dust with different directions of movement of the ventilation flow relative to the course of coal excavation, taking into account the operation of the axial jet fan installed on the longwall shearer. It is shown that this method of ventilation of the treatment face allows to reduce the average mass concentration of coal dust in the vicinity of a working longwall shearer by 13.8-36.7%.

Keywords: ventilation, longwall, longwall shearer, jet fan, coal dust, numerical simulation

Введение

Наращивание интенсивности ведения горных работ приводит не только к увеличению добычи угля, но и к росту запыленности в горных выработках. Концентрация пыли на рабочих местах машинистов комбайна и крепи в лаве в среднем за смену составляет от 30 до 240 мг/м³, а при неудовлетворительном функционировании средств гидрообеспыливания – превышает технически достижимый уровень (ТДУ) [1-3].

В шахтах угольная пыль является одним из наиболее вредных и опасных факторов, которая приводит к возникновению профзаболеваний у горняков и образует с воздухом взрывчатые смеси в подземной атмосфере выработок. Наличие пыли в метано-воздушной среде снижает границу взрываемости метана до 3 %. Участие угольной пыли при детонации метана увеличивает силу взрыва и его разрушительную способность, которая часто бывает на порядок выше, чем просто у метано-воздушной смеси [4].

Поэтому, с целью уменьшения опасности возгорания и взрыва угольной пыли, целесообразно применять меры по снижению запыленности и пылеотложения в горных выработках. Для чего в сочетании с комплексным обеспыливанием воздуха при всех процессах угледобычи могут быть использованы водяные завесы и пылеулавливающие устройства [5-9].

В некоторых шахтах за рубежом для снижения концентрации пыли на рабочих местах машиниста комбайна и машиниста крепи на очистных комплексах дополнительно устанавливают аспирационные установки, способствующие более быстрой очистке воздуха от пыли и выносу ее из рабочей зоны [10-13].

Кроме того, предложен способ [14-16] по установке струйного вентилятора на очистном комбайне, для снижения аэродинамического сопротивления выемочного участка и выноса мелкодисперсной угольной пыли из рабочих зон забоя.

Методы и материалы

Уникальность добычных участков препятствует выявлению общих закономерностей. Поэтому, необходимо ограничиться параметрами, являющимися наиболее характерными для угольных горнодобывающих предприятий. На примере габаритов очистной выработки шахт Кузбасса, оценим эффективность их проветривания с применением струйных вентиляторов, установленных на очистном комбайне.

Мощность отрабатываемого пласта в исследованиях принята – 2,4 м, длина лавы – 400 м. Дополнительно в исследуемый участок было включено сопряжение лавы с вентиляционным и конвейерным штреками, длина каждого составляла 200 м (рис.1).

Осевой струйный вентилятор принят диаметром 0,6 м способный развивать скорость воздушного потока на выходе до 30 м/с. При этом средняя скорость воздуха по сечению лавы не превышает допустимой по ПБ – 4 м/с.

В настоящее время наблюдается тенденция изменения схемы проветривания, когда приток воздуха в лаву осуществляется по вентиляционному штреку, а исходящая из лавы струя отработанного воздуха уходит по конвейерному. Поэтому, в рамках данного исследования, рассмотрен этот вариант.

Основной поставленной задачей является определение влияния осевого струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне, на пылевую обстановку в лаве, которая решалась отдельно от взаимодействия с метановоздушной смесью. Предварительные исследования показали, что концентрации метана и угольной пыли, в рассматриваемых моделях, не влияют друг на друга.

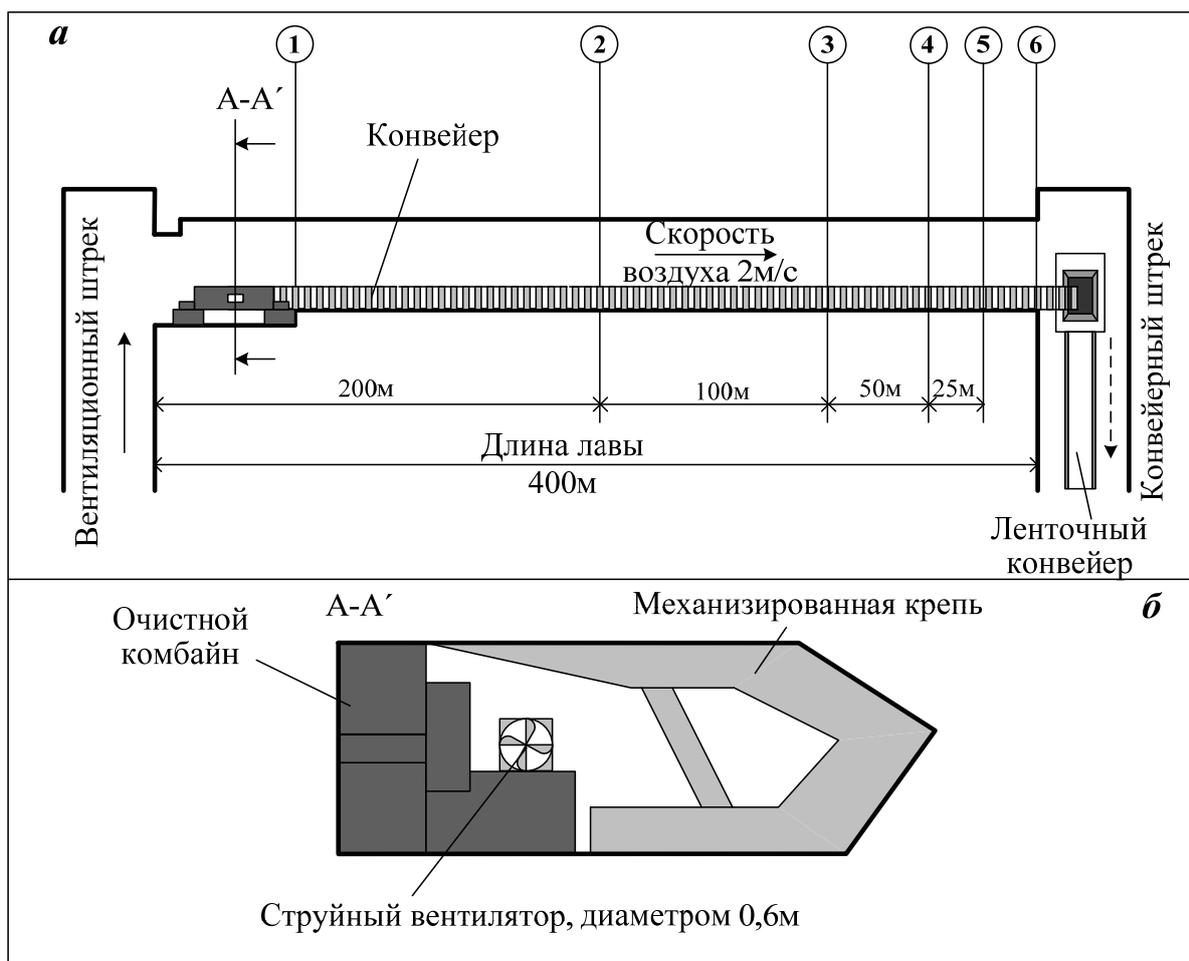


Рис. 1. Схема добычного участка (а), с указанием загромождения сечения лавы очистным механизированным комплексом (б) и расположения позиций (1-6) очистного механизированного комплекса по длине лавы

Для моделирования двухфазного течения есть два основных подхода [17]: Лагранжевы и Эйлеровы модели. В основе Лагранжева подхода лежит рассмотрение движения отдельных частиц дисперсной фазы. В основе Эйлерова подхода лежит рассмотрение изменений параметров течения (скоростей, давлений, температур) в точках пространства. Также существуют гибридные модели, в которых чередуются Лагранжев и Эйлеров подход. В гибридных моделях вводится

усреднение по пространству и переход от реального распределения частиц к объемной доле.

Лагранжева модель DPM (Discrete Phase Model — модель дискретной фазы) подразумевает построение траекторий частиц дисперсной фазы в сплошной фазе на основе решения обыкновенных дифференциальных уравнений движения. Модель учитывает двухсторонний обмен импульсом и энергией частиц со сплошной фазой. Модель применима для небольших значений объемной концентрации частиц, когда взаимодействие частиц между собой учитывается опосредовано. Для более точного учета взаимодействия частиц при увеличении концентрации используется гибридная модель DDPM (Dense Discrete Phase Model — модель плотной дискретной фазы). Модель подразумевает, что частицы не накапливаются в какой-либо части расчетной области. Модель применима для любых течений с относительно небольшой концентрацией частиц, если нужно учесть разброс/изменение размеров частиц, образование вторичных частиц, взаимодействие со стенкой.

Решение поставленной задачи проводилось при помощи гибридного подхода, представленной в расчетном комплексе Ansys Fluent моделью DDPM, построенной как комбинация моделей Eulerian (полная Эйлеровая модель, т.н. модель взаимопроникающих сред) и DPM [17].

В качестве двух сред, моделируемых в исследовании, принимались воздух и антрацитная пыль. Дисперсность пыли задавалась распределением Розина-Раммлера в диапазоне от 5 до 100 мкм, согласно [18] (рис.2).

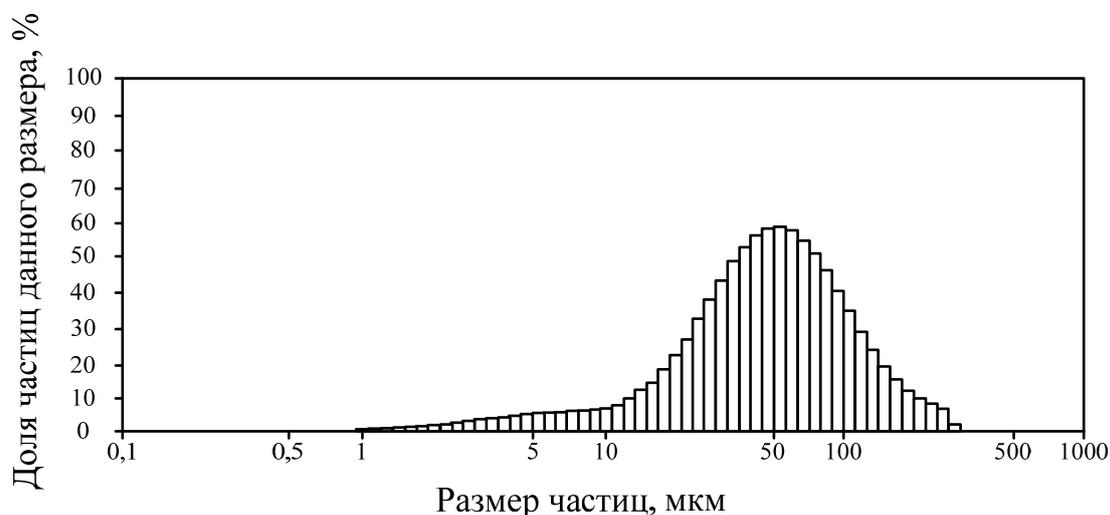


Рис. 2. Гистограмма фракционного распределение частиц пыли

При решении задачи исследования, были приняты следующие допущения: не учитывались системы орошения и пылеподавления от отбитого угля; принято, что со всех поверхностей потоком воздуха срывается равномерно 15 % пыли; учитывалось только инерционное прилипание частиц пыли к поверхностям исследуемого участка.

Результаты

В отличие от метановоздушных параметров, концентрацию угольной пыли сложно оценивать на исходящей из забоя струе, да и по длине лавы она будет существенно изменяться в зависимости от режима работы и расположения очистного комбайна (как основного источника пыли и возмущения воздушного потока). Какая-то часть пыли осаждается, другая переходит во взвешенное состояние, что затрудняет получение общих закономерности. По этой причине, основные измерения концентрации угольной пыли будут фиксироваться в сечениях рабочих зон машиниста комбайна и машиниста крепи.

Наибольшее по длительности время своего нахождения в лаве, очистной комбайн работает на «промежуточном» участке. Именно здесь элементы вентиляционной сети (такие как поворот из вентиляционного штрека в лаву, и, наоборот, из лавы в конвейерный штрек) оказывают наименьшее влияние на структуру струи приточного воздуха. Поэтому, рассмотрим изменения концентрации пыли в рабочих зонах, при расположении очистного комбайна в «промежуточной», близкой к центру, части лавы.

При обработке угольного пласта очистным комбайном, движущимся против струи приточного воздуха (рис.3), которая разделяется на два потока: один (более выравненный и мощный) движется между механизированной крепью и огораживающей конструкцией конвейера, а другой – между обнаженной поверхностью угольного пласта и конвейером. «Поток 2», подхватывает выделяемую от режущих шнеков комбайна пыль и уносит ее дальше. Через 20-30 метров массовая концентрация угольной пыли становится соизмерима с фоновым запылением от лавового конвейера.

Наиболее крупные частицы пыли (от 50 мкм и более), выделяемые от режущих шнеков комбайна, в основном сразу оседают на почве и конвейере, а более мелкие – разносятся с потоком воздуха по остальному объему выработки. Как видно из полученных результатов, значительная часть пыли оттесняется воздушным потоком к выработанному пространству, где она оседает на конструкциях механизированной крепи (рис.3).

Средняя массовая концентрация угольной пыли в сечениях А-А' и Б-Б' составляет 328-333 мг/м³. Непосредственно в области нахождения горнорабочих массовая концентрация находится в пределах от 90 до 140 мг/м³. Эти значения соответствуют ТДУ.

При движении очистного комбайна, в попутном направлении с приточной струей воздуха (рис.4), струя разделяется на два потока: один движется между механизированной крепью и огораживающей конструкцией конвейера, а другой – между обнаженной поверхностью угольного пласта и конвейером. Однако, в этом случае более выравненным является поток 2 между обнаженной поверхностью угольного пласта и конвейером, который подхватывает пыль от режущих шнеков комбайна и уносит ее дальше, вынося из рабочей зоны большее количество частиц пыли.

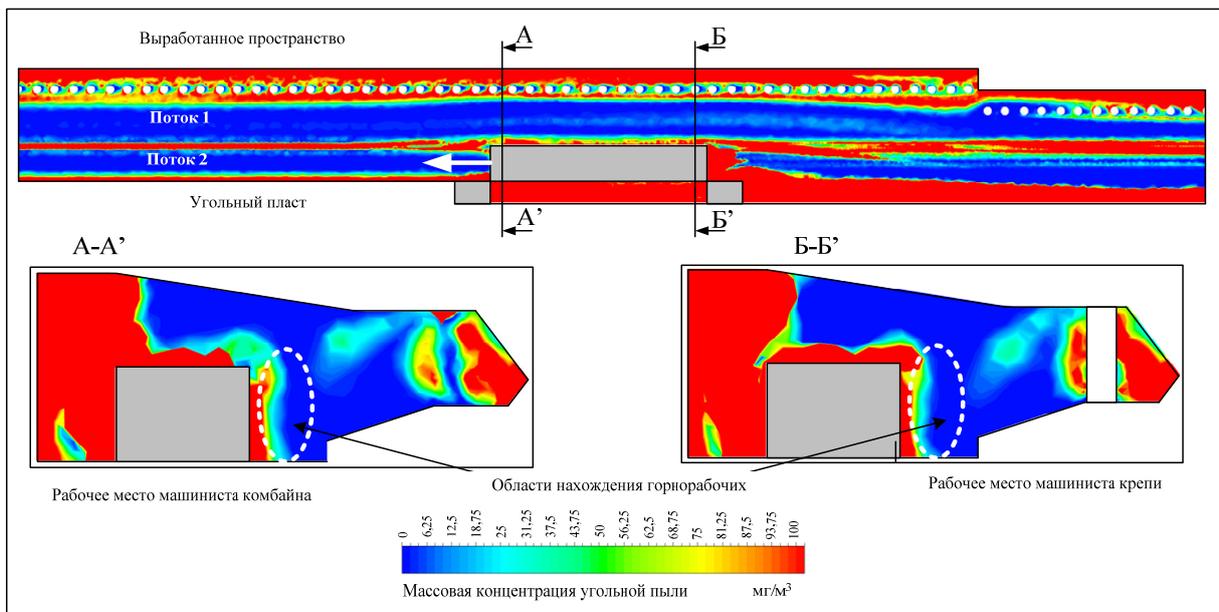


Рис. 3. Массовая концентрация угольной пыли на рабочих местах машинистов комбайна и крепи при движении очистного комбайна против направления потока воздуха

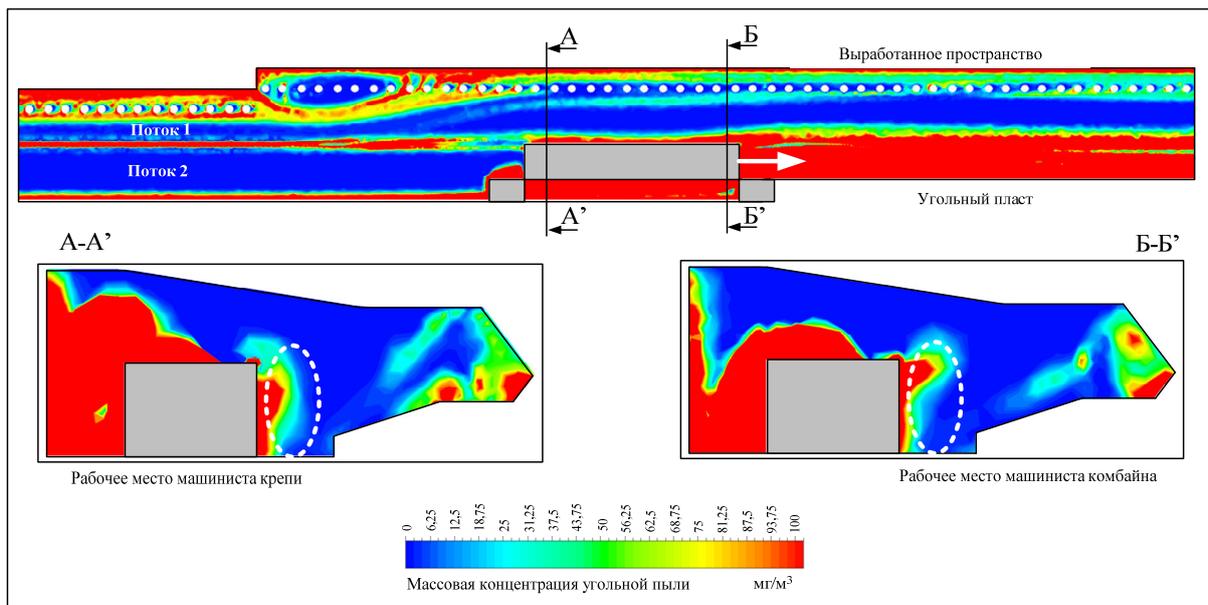


Рис. 4. Массовая концентрация угольной пыли на рабочих местах машинистов комбайна и крепи при движении очистного комбайна в попутном направлении с потоком воздуха

За счет изменения структуры поля скоростей воздушного потока 1 – меньшая доля угольной пыли вытесняется к выработанному пространству, по сравнению с вариантом движения комбайна в противоположном направлении (рис.3).

Средняя массовая концентрация угольной пыли в сечениях А-А' и Б-Б' составляет 176-245 мг/м³. Непосредственно в области нахождения горнорабочих

массовая концентрация находится в пределах от 90 до 140 мг/м³. Эти значения соответствуют ТДУ.

Работа струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне, способствует увеличению скорости потока воздуха и возникновению дополнительных вихрей (рис.5). Часть этих вихрей выносит запыленность от границы с выработанным пространством. Основной же поток воздуха от струйного вентилятора способствует снижению уровня запыленности за очистным комбайном, вынуждая тяжелые частицы пыли (от 50мкм и более) выделяемые от режущих шнеков, в основном оседать на почву и конвейер.

Тем самым, средняя массовая концентрация угольной пыли в исследуемых сечениях А-А' и Б-Б' снижается на 13,8-17,7 %, до значений 270 – 287 мг/м³. В области нахождения машинистов комбайна и крепи массовая концентрация находится в пределах от 90 до 140 мг/м³. Эти значения соответствуют ТДУ.

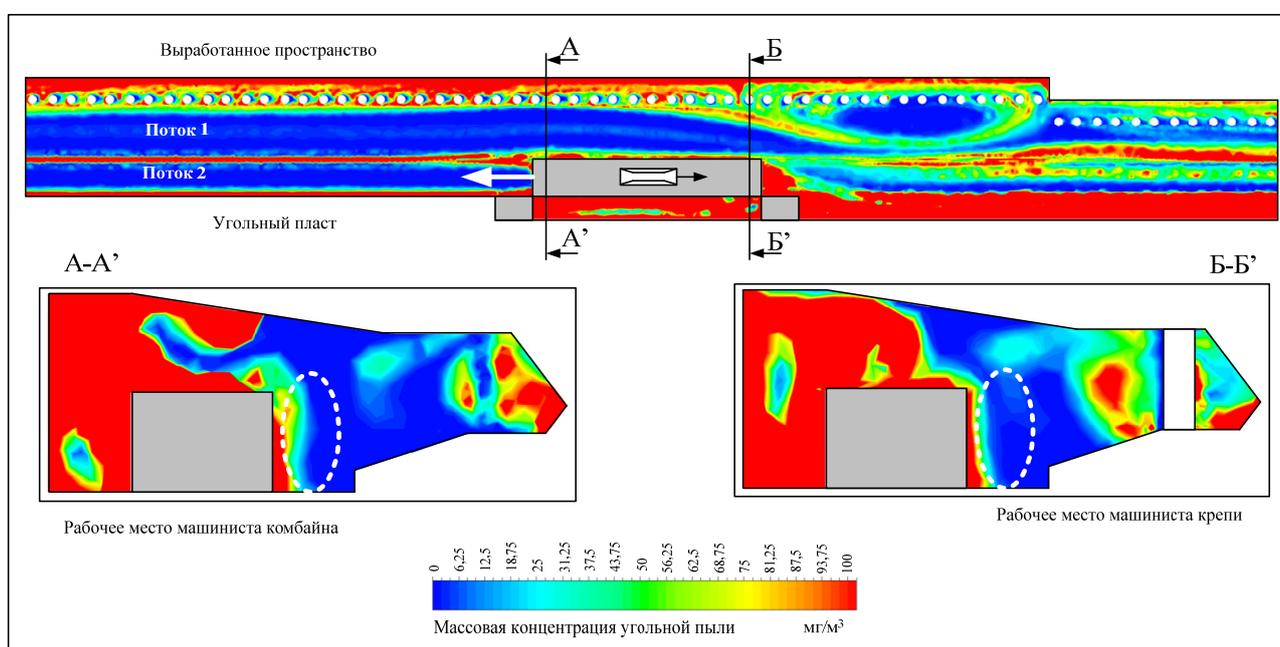


Рис. 5. Массовая концентрация угольной пыли на рабочих местах машинистов комбайна и крепи при движении очистного комбайна против направления потока воздуха, с учетом работы струйного вентилятора

Наилучшего результата по снижению массовой концентрации угольной пыли в очистной выработке удастся достичь при работе струйного вентилятора, когда комбайн движется в попутном направлении с приточной струей воздуха (рис.6). В этом случае, струйный вентилятор работает в режиме «воздуходувки», сдувая до 80% пыли, находящейся во взвешенном состоянии вблизи работающего комбайна. Побочные завихрения потоков воздуха выносят наибольшую часть угольной пыли от границы с выработанным пространством, а прямой поток от струйного вентилятора способствует осаждению частиц от режущих шнеков комбайна в основном на конвейер.

При этом средняя массовая концентрация угольной пыли в исследуемых сечениях А-А' и Б-Б' снижается на 34,1-36,7 %, до значений 116 – 155 мг/м³. В области нахождения машинистов комбайна и крепи массовая концентрация находится в пределах от 57 до 100 мг/м³. Эти значения соответствуют ТДУ.

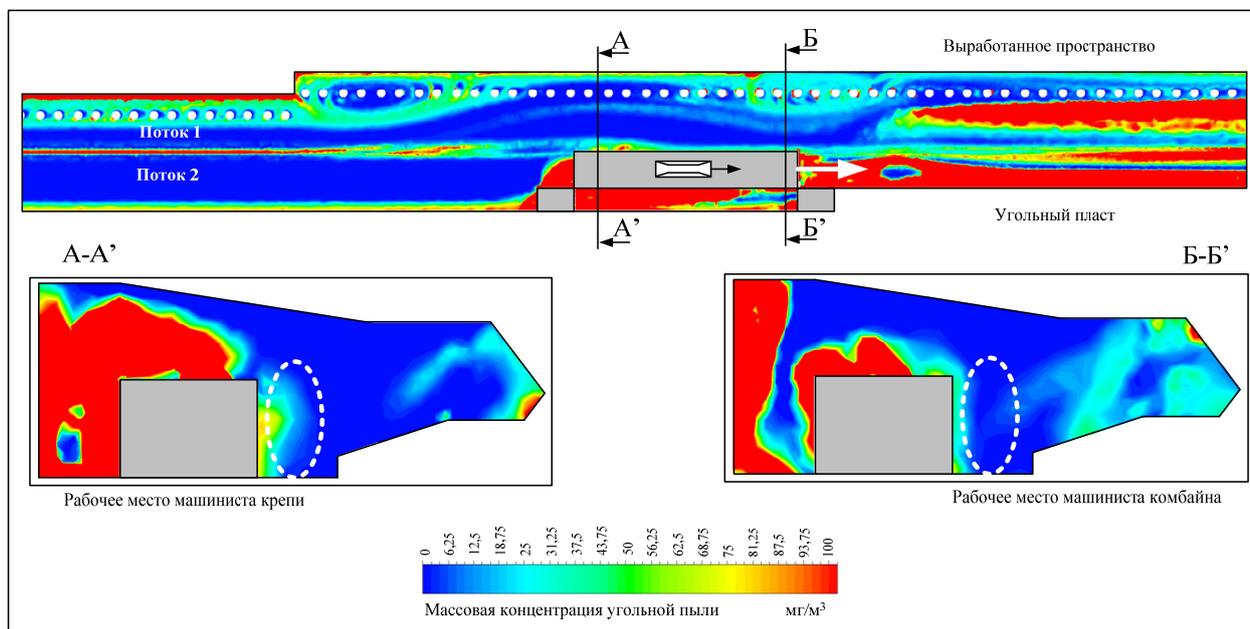


Рис. 6. Массовая концентрация угольной пыли на рабочих местах машинистов комбайна и крепи при движении очистного комбайна в попутном направлении с потоком воздуха, с учетом работы струйного вентилятора

Заключение

Обоснована технология вентиляции сверхдлинной угольной лавы с использованием струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне. Показано, что в большинстве типовых очистных выработках такой способ проветривания позволяет снизить среднюю массовую концентрации угольной пыли в окрестностях работающего очистного комбайна на 13,8-36,7%.

Благодарности

Данная статья написана по результатам исследований, выполненных в рамках проекта ФНИ (№ гос. Регистрации 121052500147-6).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бюллетень «Состояние условий труда работников, осуществляющих деятельность по сельскому хозяйству, охоте, лесному хозяйству, добыче полезных ископаемых, в обрабатывающих производствах, по производству и распределению электроэнергии, газа и воды, в строительстве, на транспорте и в связи Российской Федерации в 2015 году». Том 1. – М.: Федеральная служба государственной статистики (Росстат), Главный межрегиональный центр (ГМЦ), опубликовано 25.04.2016. – 106 с.

2. ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 13 февраля 2018 года №25 – 176 с.
3. ГОСТ Р ИСО 7708-2006 «Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле» Дата введения 01.11.2006 – М.: «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем». – 2006. – 16 с.
4. Нецепляев М.И. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / М.И. Нецепляев, А.И. Любимова, П.М. Петрухин и др. – М.: Недра, 1992. – 298 с.
5. Нецепляев В.И., Петрухин П.М., Кравец В.М. Гидрозащита от взрывов угольной пыли в шахтах. – К.: Техника, 1980. – 131 с.
6. Петрухин П.М., Нецепляев М.И., Киреев А.М. Предупреждение взрывов угольной пыли в конвейерных выработках. // Современные способы борьбы с пылью. Донецк: ЦБТИ МУП УССР – МакНИИ, 1967. – С. 60 – 62.
7. Chandan I. S., Singhal R. K. Dust Suppression in Mines. – Colliery Guardian, 1965, vol 210, №5413, p. 91 – 95.
8. Качан В.Н., Саранчук В.И., Данилов А.Т. Предупреждение взрывов угольной пыли в глубоких шахтах. – К.: Техника, 1990. – 120 с.
9. Стуканов В.И., Иванов В.Н., Логинов С.М.. Очистка рудничного воздуха от пыли при конвейерной доставке руды. // Вентиляция шахт и рудников. – Л.: 1983. – Вып.10. – С. 84 – 87.
10. Johan-Essex, V., Keles, C., Rezaee, M., Scaggs-Witte, M., Sarver, E. Respirable coal mine dust characteristics in samples collected in central and northern Appalachia. Int. J. Coal Geol. 2017, vol. 182, P. 85-93.
11. Korneva M.V. Assessment of the dust load on the respiratory organs of workers in coal mines, taking into account the dispersed composition of the dust aerosol / M.V. Korneva, G.I. Korshunov // Scientific Reports on Resource Issues Volume 1, 2017. – P. 416-421.
12. Organiscak J.A. Surface mine dust control / J.A. Organiscak, S.J. Page, A.B. Cecala, F.N. Kissell // In: Kissell FN, ed. Handbook for dust control in mining. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication – 2003. – № 147. – P. 73–81.
13. Pope C.A. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution / C.A. Pope, R.T. Burnett, M.J. Thun, E.E. Calle, D. Krewski, K. Ito, G.D. Thurston // JAMA – 2002 – №287(9) – P. 1132-1141.
14. Пат. 2701900 РФ. Способ вентиляции угольной лавы / А. М. Красюк, И. В. Лугин, С. А. Павлов и др. // Опубл. в БИ. — 2019. — № 28.
15. Павлов С.А. Интенсификация проветривания сверхдлинных угольных лав при использовании струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне / С.А. Павлов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2021. – Т. 8, № 2. – С. 216-222.
16. Павлов С.А. Проветривание призабойного пространства протяженной тупиковой выработки за счет эжекционного эффекта, возникающего при установке продольной перегородки / С. А. Павлов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2021. – Т. 8, № 1. – С. 260-266.
17. Батулин О.В., Батулин Н.В., Матвеев В.Н. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса Fluent // Самара: Изд-во Самар. гос. аэро-косм. ун-та, 2009. – 151 с.
18. Кобылкин А. С. Исследования пылераспределения в очистном забое у комбайна / А. С. Кобылкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 6-1. – С. 65-73