

ГЕОМЕХАНИКА, РАЗРУШЕНИЕ ПОРОД ВЗРЫВОМ, РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-5-37-46

УДК 622.82; 622.868

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ПРОВЕТРИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

UNDERGROUND VENTILATION SYSTEM MANAGEMENT MINING COMPANIES IN EMERGENCY SITUATIONS

Николаев Александр Викторович

канд. техн. наук, доцент, e-mail: nikolaev0811@mail.ru

Aleksandr V. Nikolaev, C. Sc. in Engineering, Associate Professor

Лялькина Галина Борисовна

доктор физ.-мат. наук, профессор, gblyalkina@mail.ru

Galina B. Lyalkina, Dr. Sc. in Physics and Mathematics, Professor

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29.

Perm National Research University, 29 Komsomolsky Ave, Perm, 614990, Russian Federation

Аннотация:

В статье предложен алгоритм управления системой проветривания подземного горнодобывающего предприятия, в которой автоматические вентиляционные двери (АВД) располагаются в выработках главных направлений, причем предусмотрена возможность переключения нагнетательных вентиляторов шахтных калориферных установок (ШКУ) в реверсивный режим (при котором воздух направляется на поверхность из воздухоподающих стволов). В случае возникновения нештатных ситуаций предложенный алгоритм позволяет сократить время на реверсирование направления движения воздуха и обеспечить безопасность в различных ситуациях, связанных с возможными вариантами отказов АВД.

Благодаря использованию быстровозводимых шахтных перемычек нового типа можно изолировать добычные участки от попадания в них дымовых газов заранее в автоматизированном режиме, определив места их возведения, в том числе с помощью «Электронного плана ликвидации аварий».

Ключевые слова: безопасность, проветривание, пожар, управление, шахтная вентиляционная перемычка, система автоматизации.

Abstract:

An algorithm is proposed for controlling the ventilation system of an underground mining enterprise in which automatic ventilation doors (AVD) are located in the mine workings of main directions, and it is possible to switch the discharge fans of mine air-heating units (MAHUs) into a reverse mode (when air is directed to the surface from air-supplying trunks). In case of emergencies, the proposed algorithm allows to reduce the time for reversing the direction of air movement and to ensure safety in various situations associated with possible options for failure of the AVD.

Thanks to the use of pre-fabricated mine air stoppings of a new type, it is possible to isolate mining sites from the ingress of flue gases in advance in an automated mode, determining the places of their construction, including using the "Electronic plan for the elimination of accidents."

Key words: engineering safety, ventilation, fire, control, mine air stoppings, automation system

Введение

Безопасность на подземных горнодобывающих предприятиях неразрывно связана с процессом проветривания горных выработок. Подача воздуха в шахту (рудник) осуществляется согласно требованиям [1]. Однако, как показывает опыт, расчетное количество подаваемого в шахту воздуха не всегда обеспечивает безопасные условия труда на всех добычных участках. Одна из причин – сложная геометрия, в том числе большая разветвленность горных выработок, при движении по которым значительная часть воздуха «рассеивается» в выработанном пространстве. Поэтому процессом распределения свежего воздуха между горными выработками необходимо управлять с учетом складывающихся производственных ситуаций и геометрии пространства.

Во время возникновения нештатных ситуаций проблема обеспечения рабочей зоны свежим воздухом и отвода из нее дымовых газов становится еще более острой.

К настоящему времени созданы разнообразные методики расчета и программные комплексы, позволяющие определить пути движения воздуха в нормальном и аварийном режимах [2-5], в том числе методы расчета, учитывающие действие выработанных пространств [6, 7], газовыделения из вмещающих пород [8-12] и др.

Однако при этом достаточно редко встречаются исследования, направленные на создание автоматизированных систем обеспечения безопасности в горных выработках в случае возникновения пожара и в других острых нештатных ситуациях, требующих незамедлительного оперативного вмешательства.

В работе [13] представлен «Электронный план ликвидации аварий» (ЭПЛА), в котором рассмотрены возможные пути распространения дымовых газов в случае возникновения пожара в подземном пространстве конкретного горнодобывающего предприятия. Однако помимо анализа последствий пожара и плана их ликвидации необходимо разрабатывать мероприятия, которые позволяли бы быстро предпринимать действия по локализации опасной ситуации и предупреждению ее развития.

1. Проблемы работы систем проветривания при возникновении нештатной ситуации

С целью повышения эффективности проветривания и энергосбережения при проветривании еще в 30-х гг. на подземных горнодобывающих предприятиях предложили использовать рециркуляцию, т.е. частичное повторное использование воздуха в подземном пространстве [14-24]. Серия работ [25-28] посвящена автоматизированным системам проветривания с применением рециркуляции.

С точки зрения энергосбережения эффективность предлагаемых систем не вызывает сомнения, однако после проведенного в работе [29]

исследования выяснилось, что в случае нештатных ситуаций существует ряд опасностей, которые могут стать причиной трагических последствий. В частности, эти опасности связаны с применением автоматических вентиляционных дверей (АВД) в главных вентиляционных выработках рудника и возможным выходом их из строя. Дело в том, что на АВД постоянно действует горное давление, при этом на практике достаточно часто наблюдается нарушение их работы (заклинивание или недоворот жалюзийных регуляторов до требуемого положения). Кроме того, в работе [29] установлено, что при реверсе струи воздуха, который необходимо осуществлять в случае возникновения нештатной ситуации [1], в предложенной системе не предусмотрены способы устранения проблемы влияния выработанных пространств на процесс проветривания. Согласно [5, 30], в период реверса воздушной струи выработанные пространства начинают играть роль источника тяги, и вместо реверсирования струи, при смене направления движения воздуха только в вентиляционном стволе (по которому он также поступает в горные выработки), воздух продолжает поступать в шахту по воздухоподающим стволам.

2. Система автоматизации проветривания в реверсном режиме при расположении АВД в выработках главных направлений

Для решения указанной выше проблемы в работе [31] была предложена новая система автоматизации проветривания. Схема проветривания рудника и управление этим процессом изменены следующим образом:

1. АВД размещены не в главных вентиляционных, а в выработках главных направлений (рис. 1).

2. АВД выполнены таким образом, чтобы закрывающиеся их части могли перекрывать горную выработку не полностью, а только частично, чтобы обеспечить возможность прохода через них горнорабочих и воздуха в случае выхода их из строя.

3. Работа нагнетательных вентиляторов шахтных калориферных установок (ШКУ) «привязана» к системе рециркуляции.

При переводе ГВУ в реверсивный режим АВД, закрываясь, обеспечивают «перемещение» точки с пониженным давлением к себе, направляя воздух из выработанного пространства к ним. При этом включенные в реверсивном направлении нагнетательные вентиляторы ШКУ будут способствовать реверсу струи в воздухоподающих стволах.

Следует отметить, что подобная система работоспособна не только при применении системы рециркуляции, но и в рудниках со всасывающим способом проветривания, где рециркуляция не применяется.

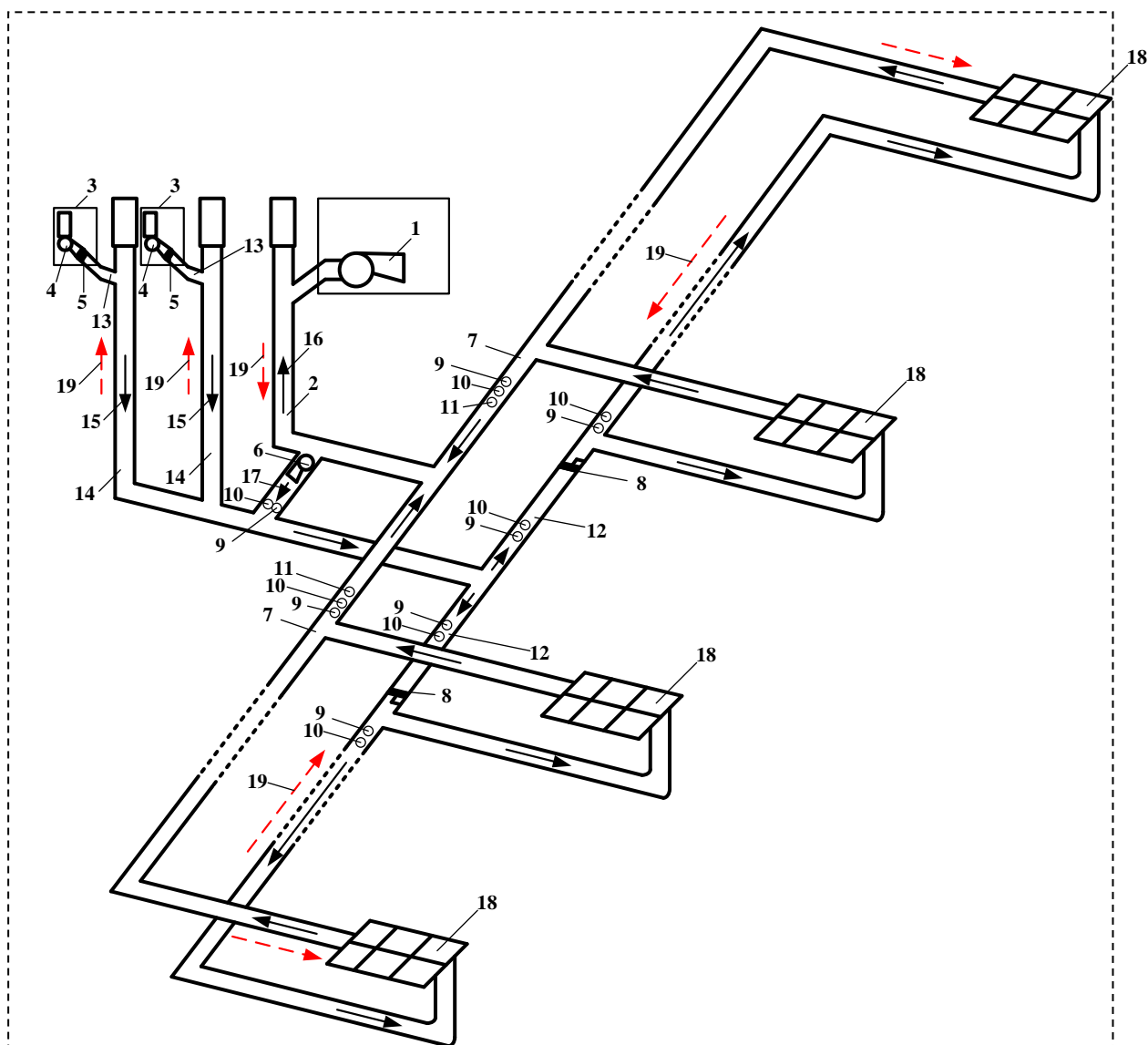


Рис. 1. Схема проветривания рудника при использовании системы рециркуляции по предлагаемому способу:

1 – ГВУ; 2 – вентиляционный ствол; 3 – здание шахтной калориферной установки (ШКУ); 4 – вентилятор ШКУ; 5 – теплообменник ШКУ; 6 – рециркуляционный вентилятор; 7 – главные вентиляционные выработки; 8 – автоматические вентиляционные двери; 9 – датчик расхода воздуха; 10 – датчики состава воздуха; 11 – датчики давления и температуры (или плотномер); 12 – выработки главных направлений; 13 – калориферный канал; 14 – воздухоподающий ствол; 15 – поступающий воздух; 16 – выдаваемый воздух; 17 – рециркуляционный воздух; 18 – добычные участки; 19 – требуемое направление движение воздуха при реверсе ГВУ

Fig. 1. The scheme of ventilation of the mine when using a recirculation system according to the proposed method:

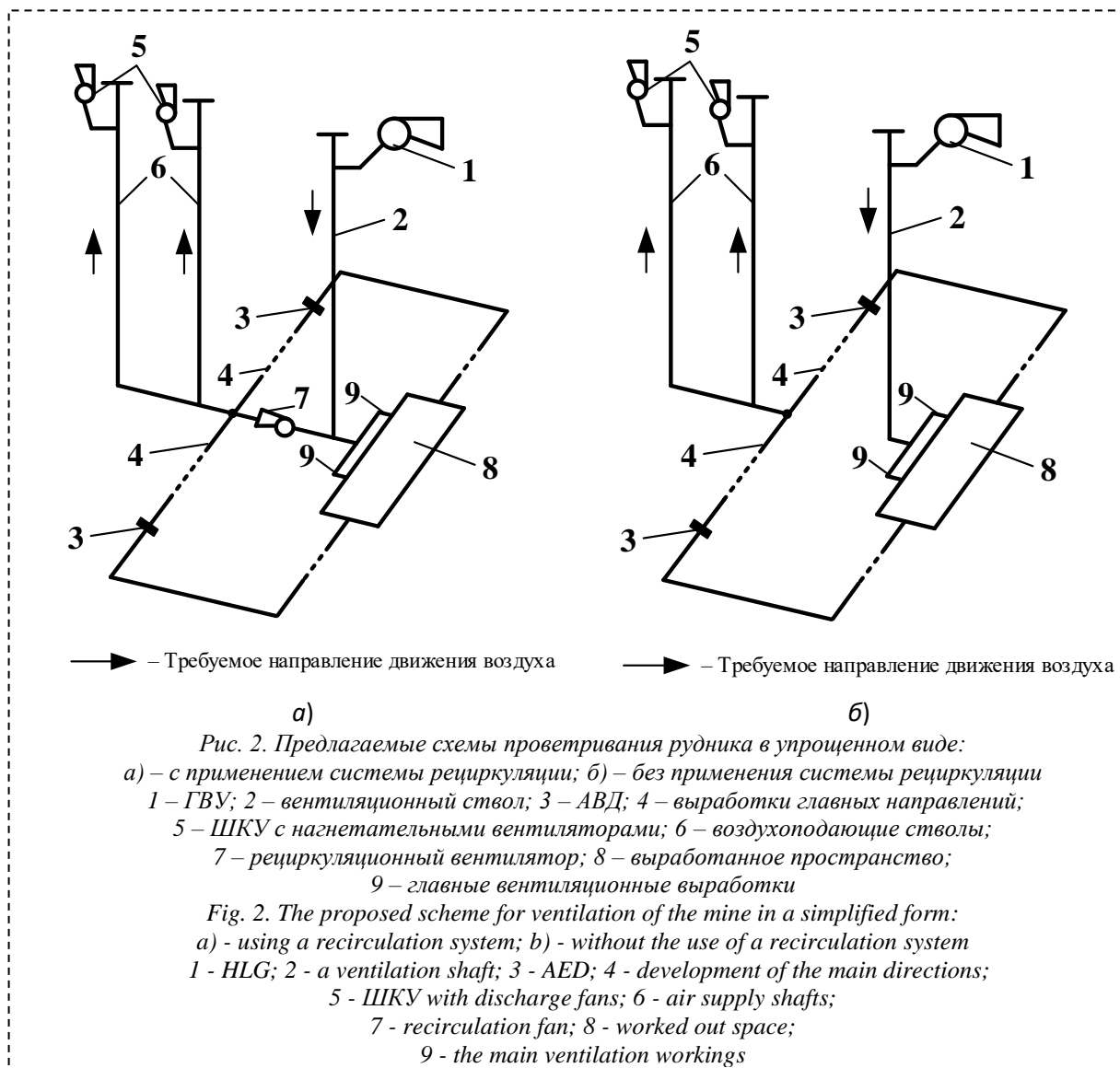
1 - HLG; 2 - a ventilation shaft; 3 - the building of a mine air heater; 4 - fan; 5 - heat exchanger; 6 - recirculation fan; 7 - the main ventilation workings; 8 - automatic ventilation doors; 9 - air flow sensor; 10 - air composition sensors; 11 - pressure and temperature sensors (or densitometer); 12 - development of the main directions; 13 - heating channel; 14 - air supply shaft; 15 - incoming air; 16 - discharged air; 17 - recirculation air; 18 - mining sites; 19 - the required direction of air movement during reverse HLG

3. Алгоритм работы предлагаемой автоматизированной системы проветривания в реверсивном режиме в нештатной ситуации

Рассмотрим процесс возникновения нештатной ситуации на упрощенных схемах рудников со всасывающим способом проветривания с

применением системы рециркуляции (рис. 2, а) и без ее применения (рис. 2, б).

1 шаг. При возникновении нештатной ситуации ГВУ 1 включается в реверсивный режим и начинается подача воздуха в вентиляционный ствол 2. В это время начинают закрываться АВД 3,



расположенные в выработках главных направлений 4, и включаются нагнетательные вентиляторы ШКУ 5, расположенные на воздухоподающих стволах 6, в реверсивный режим, т.е. направят струю воздуха из шахты (по воздухоподающим стволам 6 на дневную поверхность). При проветривании с применением системы рециркуляции (рис. 2, а) рециркуляционный вентилятор 6 продолжает свою работу.

2 шаг. После закрытия АД в выработке перед ними образуется зона пониженного давления и возникает депрессия, действующая навстречу направлению движения воздуха, поступающего в выработанное пространство и добычные участки. При этом выработанное пространство будет наполняться воздухом, поступающим со стороны ГВУ, т.е. в главных вентиляционных выработках воздух будет двигаться в требуемом направлении, после чего рециркуляционная установка отключится.

3 шаг. Как только в воздухоподающих стволах и в выработках главных направлений будет обеспечен реверс струи, АД начнут открываться, в

результате чего возникнет тяга, действующая в требуемом направлении, т.е. в сторону воздухоподающих стволов. Угол открытия рассчитывается заранее и определяется уровнем сигнала с программируемого логического контроллера (ПЛК) системы автоматизации.

В этом случае влияние выработанных пространств на процесс проветривания при реверсе ГВУ будет сведено к минимуму, в результате чего в руднике (шахте) воздух в кратчайший срок начнет двигаться в требуемом направлении.

При использовании предложенной выше системы проветривания безопасные условия труда для горнорабочих будут обеспечены как в нормальном, так и аварийном режимах работы рудника, если при этом АД и система автоматизации рециркуляции работают в штатном режиме.

Однако следует рассмотреть проблему нарушения работоспособности системы из-за возможных отказов оборудования и системы автоматизации в целом.

4. Алгоритмы управления работой системы проветривания в реверсивном режиме при отказе АД

В предлагаемой системе автоматизации проветривания в штатном режиме АД находятся в открытом положении, и потому они не могут оказать какого-либо влияния на процесс воздухораспределения между выработками. Возможный отказ («заклинивание») АД в открытом положении как в штатном, так и в аварийном режимах проветривания – это наиболее безопасный вариант их отказа. При этом расположение АД в выработках главных направлений позволяет избежать влияния выработанных пространств на проветривание в момент реверса струи в случае аварии и практически не повлияет на безопасность горнорабочих.

Если же предположить, что АД могут закрыться, то подобная ситуация также не должна вызывать угрозу для горнорабочих, если при этом соблюдать некоторые правила управления работой системы. Алгоритмы управления при этом несколько различаются в зависимости от вариантов отказов:

1 вариант: АД «заклинивает» в закрытом положении.

Данная аварийная ситуация может произойти только после перехода ГВУ в реверсивный режим, когда АД, открывшись, должны будут через себя направить воздух в воздухоподающие стволы. Тогда при «заклинивании» АД в закрытом положении воздух в выработки будет продолжать поступать в установленном направлении до тех пор, пока не будет полностью заполнены пустоты выработанного пространства. С целью увеличения продолжительности периода осуществления проветривания в подобном режиме ГВУ рекомендуется перевести на пониженную производительность (соблюдая условия безопасности по обеспечению рудника свежим воздухом), а рециркуляционную установку в случае ее наличия отключить. Ввиду того, что АД не полностью перекрывают сечение горной выработки, через них будет наблюдаться проход воздуха. Объемный расход будет зависеть от создаваемой в этом направлении депрессии. В этом случае депрессия будет создаваться нагнетательными вентиляторами ШКУ.

После заполнения воздухом выработанного пространства воздух даже через остановленный и перекрытый рециркуляционный вентилятор начнет поступать в воздухоподающие стволы. До тех пор, пока датчик расхода воздуха в рециркуляционном контуре не покажет смену направления движения воздуха в сторону воздухоподающих стволов, ГВУ может работать в установленном режиме.

Изменение направления движения воздуха (снижение скорости движения воздуха до нуля) в рециркуляционном контуре (рис. 1 и рис. 2, а) будет свидетельствовать о том, что выработанное пространство заполнено воздухом и количество поступающего воздуха больше исходящего через

проемы АД. В этом случае ГВУ необходимо отключить. Движение воздуха в требуемом направлении некоторое время будут поддерживать нагнетательные вентиляторы ШКУ. Включение/выключение и регулирование режимов работы ГВУ до устранения неполадки с АД будет зависеть от объемного расхода воздуха, проходящего через проемы между АД и горной выработкой при помощи датчиков 9 в выработках главных направлений 12 (рис. 1).

В рудниках без системы рециркуляции система будет работать таким же образом за исключением того, что следить за изменением потока воздуха необходимо будет только по датчикам расхода воздуха, расположенным в главных вентиляционных выработках.

2 вариант: Несанкционированное закрытие АД.

Ввиду того, что АД должны переводиться в закрытое положение только при возникновении аварии, данная ситуация является нештатной и возможна только в нормальном режиме проветривания.

В этом случае необходимо установить реальность отсутствия в руднике аварии. После этого подтверждения необходимо перевести ГВУ в реверсивный режим и использовать влияние выработанного пространства с положительной стороны: за счет их влияния воздух в рудник будет поступать в течение от 40 мин до 2 часов [5, 30] вплоть до полного его заполнения. Время и характер работы системы проветривания в этом режиме будет контролироваться системой управления в зависимости от показаний с датчиков расхода воздуха, расположенных в главных вентиляционных выработках.

После заполнения выработанного пространства воздухом (также определяется по датчикам расхода воздуха) ГВУ необходимо перевести в нормальный режим проветривания. Это возможно сделать, т.к. в подземном горнодобывающем предприятии в этот момент нет пожара.

Изменение режима работы ГВУ необходимо продолжать до устранения неисправности в работе АД.

Алгоритм работы для рудников с системой рециркуляции и для рудников, не использующих ее, не отличаются.

3 вариант: АД «заклинит» в открытом положении.

Как было сказано ранее, возникновение подобной ситуации равносильно тому, что в руднике не используется способ проветривания, снижающий негативное влияние выработанного пространства, т.е. эта ситуация возникает в случае реверса в рудниках, использующих всасывающий способ проветривания.

При возникновении данной нештатной ситуации противодействовать влиянию выработанных

пространств будут нагнетательные вентиляторы ШКУ, включенные в реверсивный режим (в направлении выдачи воздуха из воздухоподающих стволов). В этом случае необходимо заранее рассчитать возможные нагрузки на нагнетательные вентиляторы ШКУ, чтобы исключить возможность выхода их из строя.

Представленные алгоритмы позволяют управлять воздухораспределением в выработках главных направлений и главных вентиляционных выработках путем изменения путей движения воздуха в требуемом направлении как в штатных, так и в нештатных ситуациях, а также при отказе АД.

В итоге остается одна проблема – проблема локализации дымовых газов и осуществления воздухораспределения в рабочих зонах и добычных участках при возникновении пожара.

5. Обеспечение безопасности в случае возникновения пожара в добычных участках

Как было показано выше, обеспечить смену направления воздуха в руднике за короткий период времени достаточно сложно. В связи с этим возникает угроза при возникновении пожара в добычном участке до осуществления реверса струи, связанная с распространением дымовых газов и усилением горения за счет подачи в область горения свежего воздуха. Эта проблема может быть решена путем локализации рабочих зон и отдельных участков с помощью шахтных вентиляционных перемычек (ШВП). ШВП используются для защиты горнорабочих от воздействия пламени, а также с целью изоляции добычного участка и локализации очага пожара путем снижения содержания воздуха в рабочей зоне и защиты от попадания в нее дымовых газов [32, 33]. Основное требование к ШВП – это их быстровозводимость. В настоящее время ШВП

устанавливаются силами и средствами бойцов военной горноспасательной части (ВГСЧ). В этом случае требуются затраты времени на прибытие отряда к месту локализации пожара.

В работе [34] представлена конструкция быстровозводимой ШВП, способной надежно перекрывать горную выработку. Одно из важных преимуществ этой ШВП – возможность ее возведения без спецсредств и особых навыков, т.е. она может быть возведена силами горнорабочих.

Представленный в работе [13] «ЭПЛА» позволяет при известной точке возгорания заранее определять места возведения ШВП в зависимости от путей движения воздуха и дымовых газов, осуществляя защиту горнорабочих. Поэтому в совокупности указанные средства (ШВП и ЭПЛА) смогут эффективно обеспечить безопасность и осуществлять защиту горнорабочих, а также способствовать ликвидации аварий.

Заключение

Описанный в работе алгоритм управления предлагаемой системой проветривания позволит устранить факторы, влияющие на безопасность ведения горных работ: снизить влияние выработанного пространства при переводе ГВУ в реверсивный режим и осуществлять проветривание подземного горнодобывающего предприятия в случае выхода из строя АД. Для защиты горнорабочих от отравления дымовыми газами в добычных участках при возникновении в них пожара и локализации очагов их возникновения необходимо использовать быстровозводимые ШВП, а места их установки определять в автоматизированном режиме. В качестве ШВП может быть использована перемишка нового типа, про которую идет речь в настоящей работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Серия 03. Вып. 78. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. 276 с.
2. Круглов Ю.В. Разработка проекта технического перевооружения вентиляционной сети рудника БКПРУ-4 ОАО «Уралкалий» с системой автоматического оптимального управления проветриванием и регулируемой рециркуляцией // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 11 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2013. – С. 260-262.
3. Кормищиков Д.С. Исследование и разработка систем аэрогазодинамической безопасности подземных рудников: дис.... канд. техн. наук. – Пермь, 2015. – 120 с.
4. Палеев Д.Ю. Сетевая задача проветривания горных выработок и выработанного пространства шахты // Вестн. Кузбасс. гос. техн. ун-та. 2006. № 5. С. 58-62.
5. Мохирев Н.Н., Радько, В.В. Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация. – М.: ООО Недра-Бизнесцентр, 2007. – 324 с.
6. Мохирев Н.Н., Постникова М.Ю. Моделирование аварийных ситуаций в шахтах с целью создания безопасных условий эвакуации горнорабочих // Тез. докл. 16-й Всеросс. конф. молод. ученых «Математическое моделирование в естественных науках». – ПГТУ. – 2007. – С. 63-64.

7. Cygankiewicz, J. Determination of critical conditions of spontaneous combustion of coal in longwall gob areas // Arch. Min. Sci., 2015. – Vol. 60, № 3. – pp. 761-776.
8. Говорухин Ю.М., Домрачев А.Н., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю., Балаганский М.Ю. Методология моделирования фильтрации газоз воздушных смесей в выработанном пространстве выемочного участка // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2011. № 1-2011. С. 72-76.
9. Acuna E.I., Hurtado J.P., Wallace K.G. A summary of the computational fluid dynamic application to the new level mine project of El Teniente // 10th International mine ventilation congress, IMVC2014, The mine ventilation Society of South Africa. – 2014. – pp. 91-97.
10. Janusz Szmyd, Marian Branny, Michal Karch, Waldemar Wodziak, Marek Jaszczur, Remigiusz Nowak Experimental and numerical analysis of the air flow in T-shape channel flow. Arch. Min. Sci., Vol. 58 (2013), No 2, p. 333-348.
11. Wachowicz J., Laczny J.M., Iwaczenko S., Janoszek T., Cempa-Balewicz M. Modelling of underground coal gasification process using CFD methods. Arch. Min. Sci., 2015 – Vol. 60, № 3. – pp. – 663-676.
12. Васенин И.М., Шрагер Э.Р., Крайнов А.Ю., Палеев Д.Ю., Лукашов О.Ю., Костеренко В.Н. Математическое моделирование нестационарных процессов вентиляции сети выработок угольной шахты // Компьютерные исследования и моделирование. – 2011. – Т. 3. № 2. – С. 155-163.
13. Кормициков Д.С. Применение программного модуля «Электронный план ликвидации аварий» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2010. – Т.9, №5. – С.86–89.
14. Мохирев Н.Н. Использование рециркуляции воздуха при проветривании калийных рудников // Известия вузов. Горный журнал. – 1987. – № 9. – С. 47-51.
15. Файнбург Г.З., Фоминых В.И. О расчете проветривания вентиляционных сетей добычного участка в режиме рециркуляции // Разработка соляных месторождений. – Пермь, 1980. – С. 60-64.
16. Красноштейн А.Е., Файнбург Г.З. Расчет газовой динамики при рециркуляционном проветривании добычного участка // Вентиляция шахт и рудников. – Л., 1978. – Вып. 5. – С. 26-32.
17. Aldred R., Sproston J.H., Pearce R.J. Airconditioning and recirculation of mine air in North Nottinghamshire // Mining Engineer. – 1984. – Vol. 143, № 273. – P. 601–607.
18. Lawton B.R. Local cooling underground by recirculation // Transaction of the Inst. Of Mining Engineers. – 1933. – Vol. 90. – P. 63-68.
19. Morris I.N., Walker G. Changes in the approach to ventilation in recent years // The Mining Eng. – 1982. – Vol. 141, № 244. – P. 401-413.
20. Robinson R., Harrison T. Controlled recirculation of air at wearmouth colliery British coal corporation // Journal of Mine Ventilation Society South Africa. – 1988. – № 6. – P. 78-87.
21. Robinson R., Harrison T. Controlled recirculation of air at Wearmouth Colliery // Mining Engineering. – 1987. – Vol. 146, № 308. – P. 661-671.
22. Vutukuri V.S., Lama R.D. How to maximize the recirculation of used air // Tunnel and Tunneling. – 1988. – № 10. – P. 57-59.
23. Bichall J. British start to recirculate air underground // Coal Age. – 1987. – Vol. 92, № 6. – P. 44-45.
24. Зайцев А.В., Ключкин Ю.А., Киряков А.С. Исследование процессов тепломассопереноса в горных выработках при применении систем частичного повторного использования воздуха // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – № 11. – С. 121–129. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.11.12
25. Круглов Ю.В. Теоретические и технологические основы построения систем оптимального управления проветриванием подземных рудников: дис. ... д-ра техн. наук. – Пермь, 2012. – 340 с.
26. Левин Л.Ю., Круглов Ю.В. Исследование рециркуляционного способа проветривания калийных рудников и его экономическая эффективность // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 10. – С. 39-48.
27. Головатый И.И., Круглов Ю.В., Левин Л.Ю. Шахтная вентиляторная установка с системой автоматического управления для рециркуляционного проветривания калийных рудников // Горный журнал. – 2010. – № 8. – С. 78-80.

- 28.Круглов Ю.В., Левин Л.Ю. Основы построения оптимальных систем автоматического управления проветриванием подземных рудников // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2010. – Вып. 2. – С. 104-109.
- 29.Обеспечение безопасности и энергоэффективности при проветривании шахт и рудников, использующих систему рециркуляции воздуха / А.В. Николаев, Н.И. Алыменко, М. Чехлар, Ю. Яночко, Д.Н. Алыменко, В.А. Николаев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т.16, №4. – С.370–377. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.4.8.
- 30.Постникова М.Ю. Влияние выработанных пространств на аэрогазодинамические процессы при аварийных режимах вентиляции рудников: дис. ... канд. техн. наук. – Тула, 2010. – 191 с.
- 31.Система автоматизации главной вентиляторной установки: патент № 2653206 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Николаев В.А., Алыменко Д.Н., Файнбург Г.З., Вавулин А. В.; заявл. 20.03.2017, опубл. 07.05.2018. Бюл. № 13.
- 32.Устав военизированной горноспасательной части по организации и ведению горноспасательных работ: приказ МЧС России от 9 июня 2017 г. № 251.
- 33.Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 31.10.2016 № 449.
- 34.Николаев А.В., Максимов П.В., Газизуллин Р.Н., Тимаров А.Г. Расчет параметров шахтной вентиляционной перемычки нового типа // Безопасность труда в промышленности. № 4. 2019. С. 16-24.

REFERENCES

1. Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornyh rabot i pererabotke tverdyh poleznyh iskopaemyh». Seriya 03. Vyp. 78. – М.: ЗАО «Nauchno-tehnicheskij centr issledovanij problem promyshlennoj bezopasnosti», 2014. 276 s.
2. Kруглов Ю.В. Razrabotka proekta tekhnicheskogo perevooruzheniya ventilyaci-onnoj seti rudnika BKPRU-4 ОАО «Uralkalij» s sistemoy avtomaticheskogo opti-mal'nogo upravleniya provetrivaniem i regulirue-moj recirkulyaciej // Strategiya i processy osvoeniya georesursov: sb. nauch. tr. Vyp. 11 / GI UrO RAN. – Perm', 2013. – S. 260-262.
3. Kormshchikov D.S. Issledovanie i razrabotka sistem aerogazodinamicheskoy bezopasnosti podzemnyh rudnikov: dis.... kand. tekhn. nauk. – Perm', 2015. – 120 s.
4. Paleev D.Yu. Setevaya zadacha provetrivaniya gornyh vyrabotok i vyrabotan-nogo prostranstva shahty // Vestn. Kuzbass. gos. tekhn. un-ta. 2006. № 5. S. 58-62.
5. Mohirev N.N., Rad'ko, V.V. Inzhenernye raschety ventilyacii shaht. Stroitel'stvo. Rekonstrukciya. Ek-spluataciya. – М.: ООО Nedra-Biznescentr, 2007. – 324 s.
6. Mohirev N.N., Postnikova M.Yu. Modelirovanie avarijnyh situacij v shahtah s cel'yu sozdaniya bezopan-syh uslovij evakuacii gornorabochih // Tez. dokl. 16 Vseross. konf. molod. uchenyh «Matematicheskoe modeliro-vanie v estestvennyh naukah». – PGТУ. – 2007. – S. 63-64.
7. Cygankiewicz, J. Determination of critical conditions of spontaneous combustion of coal in longwall gob areas // Arch Min. Sci., 2015. – Vol. 60, № 3. –pp. 761-776.
8. Govoruhin Yu.M., Domrachev A.N., Krivolapov V.G., Paleev D.Yu., Balaganskij M.Yu. Metodologiya modelirovaniya fil'tracii gazovozdushnyh smesej v vyrabotannom prostranstve vyemohnogo uchastka // Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti. 2011. № 1-2011. S. 72-76.
9. Acuna E.I., Hurtado J.P., Wallace K.G. A summary of the computational fluid dynamic application to the new level mine project of El Teniente // 10th International mine venti-lation congress, IMVC2014, The mine ventilation Society of South Africa. – 2014. – pp. 91-97.
- 10.Janusz Szmyd, Marian Branny, Michal Karch, Waldemar Wodziak, Marek Jaszczur, Remigiusz Nowak Experemental and numerical analysis of the air flow in T-shape channel flow. Arch. Min. Sci., Vol. 58 (2013), No 2, p. 333-348.

11. Wachowicz J., Laczny J.M., Iwaczenko S., Janoszek T., Cempa-Balewicz M. Modelling of underground coal gasification process using CFD methods. Arch Min. Sci., 2015 – Vol. 60, № 3. – pp. – 663-676.
12. Vasenin I.M., Shrager E.R., Krajnov A.Yu., Paleev D.Yu., Lukashov O.Yu., Kosterenk V.N. Matematicheskoe modelirovanie nestacionarnykh processov ventilyatsii seti vyrabotok ugol'noj shahty // Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie. – 2011. – T. 3. № 2. – S. 155-163.
13. Kormshchikov D.S. Primenenie programmnoho modulya «Elektronnyj plan likvidatsii avarij» // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo. – 2010. – T.9, №5. – S.86–89.
14. Mohirev N.N. Ispol'zovanie recirkulyatsii vozduha pri provetrivanii kalijnykh rudnikov // Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal. – 1987. – № 9. – S. 47-51.
15. Fajnburg G.Z., Fominyh V.I. O raschete provetrivaniya ventilyatsionnykh setej dobychnogo uchastka v rezhime recirkulyatsii // Razrabotka solyanykh mestorozhde-nij. – Perm', 1980. – S. 60-64.
16. Krasnoshejtn A.E., Fajnburg G.Z. Raschet gazovoj dinamiki pri recirkulyatsionnom provetrivanii dobychnogo uchastka // Ventilyatsiya shaht i rudnikov. – L., 1978. – Vyp. 5. – S. 26-32.
17. Aldred R., Sproston J.H., Pearce R.J. Airconditioning and recirculation of mine air in North Nottinghamshire // Mining Engineer. – 1984. – Vol. 143, № 273. – P. 601–607.
18. Lawton B.R. Local cooling underground by recirculation // Transaction of the Inst. Of Mining Engineers. – 1933. – Vol. 90. – P. 63-68.
19. Morris I.N., Walker G. Changes in the approach to ventilation in recent years // The Mining Eng. – 1982. – Vol. 141, № 244. – P. 401-413.
20. Robinson R., Harrison T. Controlled recirculation of air at wearmouth colliery British coal corporation // Journal of Mine Ventilation Society South Africa. – 1988. – № 6. – P. 78-87.
21. Robinson R., Harrison T. Controlled recirculation of air at Wearmouth Colliery // Mining Engineering. – 1987. – Vol. 146, № 308. – P. 661-671.
22. Vutukuri V.S., Lama R.D. How to maximize the recirculation of used air // Tunnel and Tunneling. – 1988. – № 10. – P. 57-59.
23. Bichall J. British start to recirculate air underground // Coal Age. – 1987. – Vol. 92, № 6. – P. 44-45.
24. Zajcev A.V., Klyukin Yu.A., Kiryakov A.S. Issledovanie processov teplomassoperenosa v gornyx vyrabotkakh pri primenenii sistem chastichnogo povtornogo ispol'zovaniya vozduha // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo. – 2014. – № 11. – S. 121–129. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.11.12
25. Kruglov Yu.V. Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy postroeniya sistem optimal'nogo upravleniya provetrivaniem podzemnykh rudnikov: dis. ... d-ra tekhn. nauk. – Perm', 2012. – 340 s.
26. Levin L.Yu., Kruglov Yu.V. Issledovanie recirkulyatsionnogo sposoba provetrivaniya kalijnykh rudnikov i ego ekonomicheskaya effektivnost' // Gornyj in-formatsionno-analiticheskij byulleten'. – 2008. – № 10. – S. 39–48.
27. Golovatyj I.I., Kruglov YU.V., Levin L.YU. Shahtnaya ventilyatornaya ustanovka s sistemoy avtomaticheskogo upravleniya dlya recirkulyatsionnogo provetrivaniya kalijnykh rudnikov // Gornyj zhurnal. – 2010. – № 8. – S. 78–80.
28. Kruglov Yu.V., Levin L.Yu. Osnovy postroeniya optimal'nykh sistem avtomaticheskogo upravleniya provetrivaniem podzemnykh rudnikov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. – 2010. – Vyp. 2. – S. 104–109.
29. Obespechenie bezopasnosti i energoeffektivnosti pri provetrivanii shaht i rudnikov, ispol'zuyushchih sistemu recirkulyatsii vozduha / A.V. Nikolaev, N.I. Alymenko, M. Chekhlar, Yu. Yanochko, D.N. Alymenko, V.A. Nikolaev // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo. – 2017. – T.16, №4. – S.370–377. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.4.8.
30. Postnikova M.Yu. Vliyanie vyrabotannykh prostranstv na aerogazodinamicheskie processy pri avarijnykh rezhimakh ventilyatsii rudnikov: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Tula, 2010. – 191 s.
31. Sistema avtomatizatsii glavnoj ventilyatornoj ustanovki: patent № 2653206 / Nikolaev A.V., Alymenko N.I., Nikolaev V.A., Alymenko D.N., Fajnburg G.Z., Vavulin A. V.; zayavl. 20.03.2017, opubl. 07.05.2018. Byul. № 13.
32. Ustav voenizirovannoj gornospasatel'noj chasti po organizatsii i vedeniyu gornospasatel'nykh rabot: prikaz

МЧС России от 9 июня 2017 г. № 251.

33. Instrukciya po lokalizacii i likvidacii posledstvij avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob"ektah, na kotoryh vedutsya gornye raboty: prikaz Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 31.10.2016 № 449.

34. Nikolaev A.V., Maksimov P.V., Gazizullin R.N., Timarov A.G. Raschet parametrov shahtnoj ventilacionnoj peremychki novogo tipa // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. № 4. 2019. S. 16-24.

Поступило в редакцию 25.09.2019

Received 25 September 2019