УДК 622.4; 622.8 DOI: 10.21440/0536-1028-2023-2-136-145

Рудничная установка местного проветривания в виде интеллектуального мехатронного модуля

Таугер В. М.[1], Кочнева Л. В.[1]*, Волков Е. Б.[1]
[1] Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: lyu7660@yandex.ru

Реферат

Введение. *Одно из важнейших условий обеспечения безопасной и безаварийной добычи ископаемого состоит в качественном проветривании подземных выработок. Исследования, направленные на управление аэрологической обстановкой в рабочих зонах, ведутся непрерывно, однако, несмотря на достигнутые успехи, актуальность проблемы создания надежных адаптивных систем проветривания шахт и рудников не снижается. В процессе выемки ископаемого система выработок на горизонте приобретает весьма сложную структуру, и зачастую единственным способом достижения качественного воздухообмена в рабочей зоне является местное проветривание.*

Методика (методология). *Для постоянного обеспечения рабочей зоны расчетным количеством свежего воздуха, а также для интенсификации проветривания в случае повышения концентраций вредных примесей применяются установки местного проветривания (УМП). Наилучшим путем повышения экологической и экономической эффективности УМП является автоматическое управление производительностью вентилятора.*

Результаты и их анализ. *Программа, заложенная в программируемом логическом контроллере (ПЛК), предусматривает сравнение показаний датчиков с допускаемыми параметрами аэрологической обстановки и выработку решения о необходимости изменения производительности вентилятора. Если требуется осуществить данное изменение, ПЛК отдает регулятору соответствующую команду – на корректировку частоты вращения двигателя вентилятора. Схема УМП упрощается, если тупиковая выработка прямолинейная, поскольку передатчик находится в прямой видимости приемника и нет необходимости в ретрансляторе. Минимальной сложностью характеризуется конструкция УМП в том случае, когда выработка прямолинейная и задача управления ограничена обеспечением постоянства расхода воздуха, подаваемого в призабойную зону. Из информационных устройств в схеме остается только датчик расхода, а ретранслятор и ПЛК исключаются. Также стоит отметить, что в течение всего периода проходки вентилятор нерегулируемой УМП создает избыточный расход и, следовательно, потребляет больше электроэнергии, чем вентилятор интеллектуального мехатронного модуля (ИММ).*

Выводы. *Преобразование УМП в ИММ обеспечит подачу требуемого количества свежего воздуха в призабойную зону и таким образом повысит безопасность труда горнорабочих. Оперативное управление производительностью ИММ приведет к существенному снижению энергозатрат и создаст благоприятные условия для оптимизации проветривания по критерию «цена–качество».*

Ключевые слова: *проветривание рудника; автоматизированная система управления; вентиляция горизонта; призабойная зона; установка местного проветривания; интеллектуальный мехатронный модуль; программируемый логический контроллер; рабочая зона; воздуховод; энергозатраты.*

Введение. Вопрос сохранения профессионального здоровья трудоспособного населения является одним из важнейших с точки зрения обеспечения стабильного экономического развития страны. Труд горнорабочих с каждым годом становится

все более механизированным и автоматизированным. При этом усиливается роль многофакторных воздействий умеренной интенсивности, вызывающих полиэтиологические нарушения здоровья работников, и возрастает роль профессионально обусловленных заболеваний. На предприятиях горнодобывающей промышленности удельный вес работающих во вредных и опасных условиях труда достигает 70–80 %. Горные предприятия отличаются особенностями технологических процессов, специфическими условиями труда, высокими профессиональными рисками для здоровья работников. Комплекс неблагоприятных производственных факторов признан одним из ведущих в формировании нарушений здоровья работников.

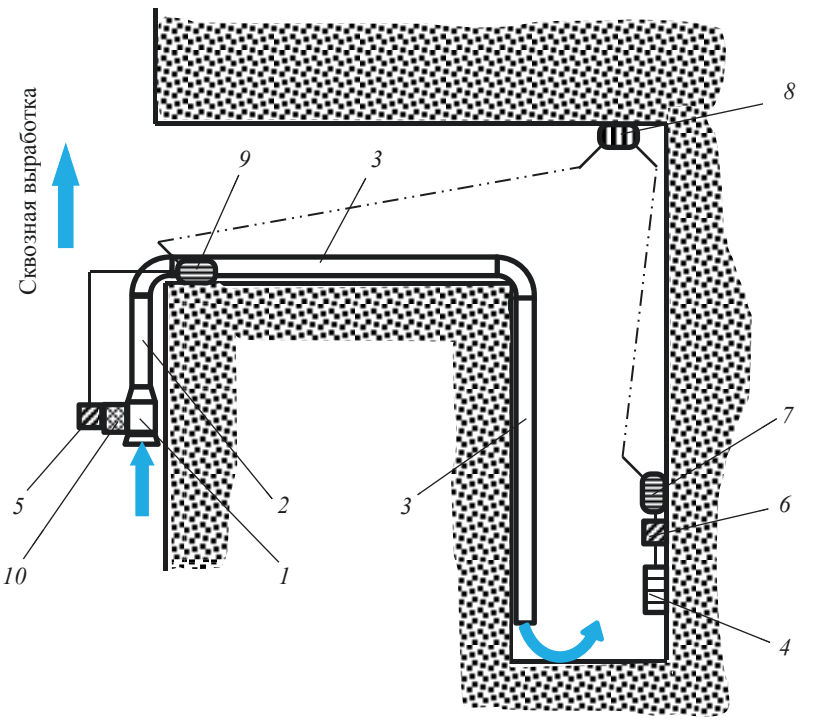

Рисунок 1. Схема автоматизированной установки местного проветривания
Figure 1. Scheme of automated mine auxiliary fan

Одно из важнейших условий обеспечения безопасной и безаварийной добычи ископаемого состоит в качественном проветривании подземных выработок. Исследования, направленные на управление аэрологической обстановкой в рабочих зонах, ведутся непрерывно, однако, несмотря на достигнутые успехи, актуальность проблемы создания надежных адаптивных систем проветривания шахт и рудников не снижается [1–10], (*МР 2.2.0244-21. 2.2. Гигиена труда. Методические рекомендации по обеспечению санитарно-эпидемиологических требований к условиям труда. Методические рекомендации*).

В процессе выемки ископаемого система выработок на горизонте приобретает весьма сложную структуру, и зачастую единственным способом достижения качественного воздухообмена в рабочей зоне является местное проветривание.

Методика проведения исследования. Установка местного проветривания (УМП) должна решать следующие задачи:

– постоянное обеспечение рабочей зоны расчетным количеством свежего воздуха;

– интенсификация проветривания в случае резкого повышения концентрации вредных примесей в атмосфере рабочей зоны;

– очистка выходящего из рабочей зоны воздуха от пыли.

В том случае, когда с пылеподавлением удовлетворительно справляются другие виды оборудования, на УМП возлагается решение первой и второй задач. Наилучшим путем повышения экологической и экономической эффективности УМП является автоматическое управление производительностью вентилятора [11–15].

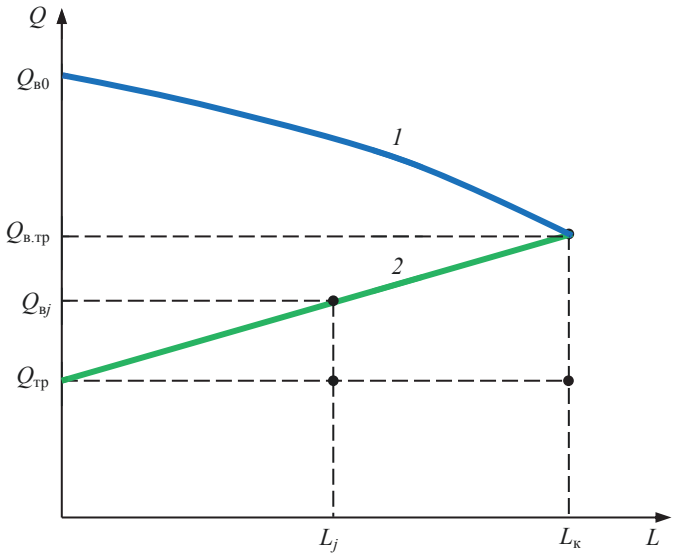

Рисунок 2. Характер изменения производительности вентилятора в период проходки выработки: *1* – нерегулируемая установка местного проветривания; *2* – интеллектуальный мехатронный модуль

Figure 2. The nature of the fan capacity change in the course of tunneling: *1* – unregulated mine auxiliary fan; *2* – intelligent mechatronic module

Результаты исследования. На рис. 1 приведена принципиальная схема предлагаемой УМП длинной непрямолинейной тупиковой выработки. Обозначения: *1* – вентилятор; *2* – переходный участок воздуховода; *3* – магистральный воздуховод (далее – воздуховод); *4* – комплект датчиков аэрологической обстановки; *5*, *6* – программируемый логический контроллер (ПЛК); *7* – радиопередатчик (далее – передатчик); *8* – ретранслятор; *9* – приемник; *10* – регулятор частоты вращения двигателя вентилятора *1*.

Вентилятор *1* подает свежий воздух из сквозной выработки в тупиковую по переходному участку *2* и воздуховоду *3*. В комплект *4* в общем случае входят датчики расхода и содержания вредных примесей в призабойной зоне тупиковой выработки. Информация от датчиков поступает в ПЛК *6*, кодируется и посредством передатчика *7* через ретранслятор *8* и приемник *9* передается в ПЛК *5*. Заложенной в ПЛК *5* программой предусмотрены сравнение показаний датчиков с допускаемыми параметрами аэрологической обстановки и выработка решения о необходимости изменения производительности вентилятора *1*. В том случае, когда требуется осуществить данное изменение, ПЛК *5* отдает команду регулятору *10* на корректировку частоты вращения двигателя вентилятора *1*.

Пусть концентрации вредных примесей в атмосфере призабойной зоны не превышают допускаемых значений, а расход воздуха Q_1, поступающего в зону при частоте вращения двигателя n_1 вентилятора *1*, больше требуемого $Q_{тр}$, который был определен по расчету газовыделения. Тогда регулятор понижает частоту вращения до n_2, определяемого по соотношению:

$$n_2 = n_1 \frac{Q_{тр}}{Q_1},$$

вследствие чего расход уменьшается до $Q_{тр}$.

В процессе регулирования датчик расхода играет роль информационного устройства обратной связи.

Повышение содержания вредных примесей свыше допускаемых значений приведет к увеличению частоты вращения и, соответственно, к интенсификации проветривания призабойной зоны.

Описанная УМП обладает признаками интеллектуального мехатронного модуля (ИММ), снабженного системой мониторинга аэрологической обстановки [16].

Схема УМП упрощается, если тупиковая выработка прямолинейная, поскольку передатчик *7* находится в прямой видимости приемника *9* и отпадает надобность в ретрансляторе *8*. Минимальную сложность принимает конструкция УМП, когда выработка прямолинейная и задача управления ограничена обеспечением постоянства подаваемого в призабойную зону расхода воздуха, т. е. $Q = Q_{тр} = \text{const}$. Из информационных устройств в схеме остается только датчик расхода, а ретранслятор и ПЛК *6* исключаются.

Рассмотрим эффект от использования УМП, предназначенной для решения задачи $Q = Q_{тр} = \text{const}$.

Рис. 2 иллюстрирует изменение производительности нерегулируемой УМП (кривая *1*) и установки в виде ИММ (прямая *2*) в период проходки выработки.

В начале проходки производительность вентилятора нерегулируемой УМП составляет $Q_{в0}$, по мере удлинения выработки она уменьшается и при длине воздуховода $L = L_к$ становится равной $Q_{в.тр}$.

Производительность вентилятора ИММ в начале проходки – $Q_{тр}$, а при $L = L_к$ так же, как и в нерегулируемой УМП, принимает значение $Q_{в.тр}$. Для произвольно взятой длины воздуховода L_j обеспечивается производительность (*Инструкция по расчету количества воздуха, необходимого для проветривания действующих угольных шахт. М.: Недра, 1975. 80 с.*):

$$Q_{вj} = Q_{тр} k_{утj},$$

где $k_{утj}$ – коэффициент утечек, соответствующий длине воздуховода L_j.

Зависимость коэффициента утечек $k_{ут}$ от длины L близка к линейной и аппроксимируется формулой

$$k_{ут} = 1 + aL,$$

где a – постоянный коэффициент, имеющий размерность м$^{-1}$.

Таким образом, ИММ обеспечивает постоянную и равную $Q_{тр}$ величину расхода на выходе воздуховода.

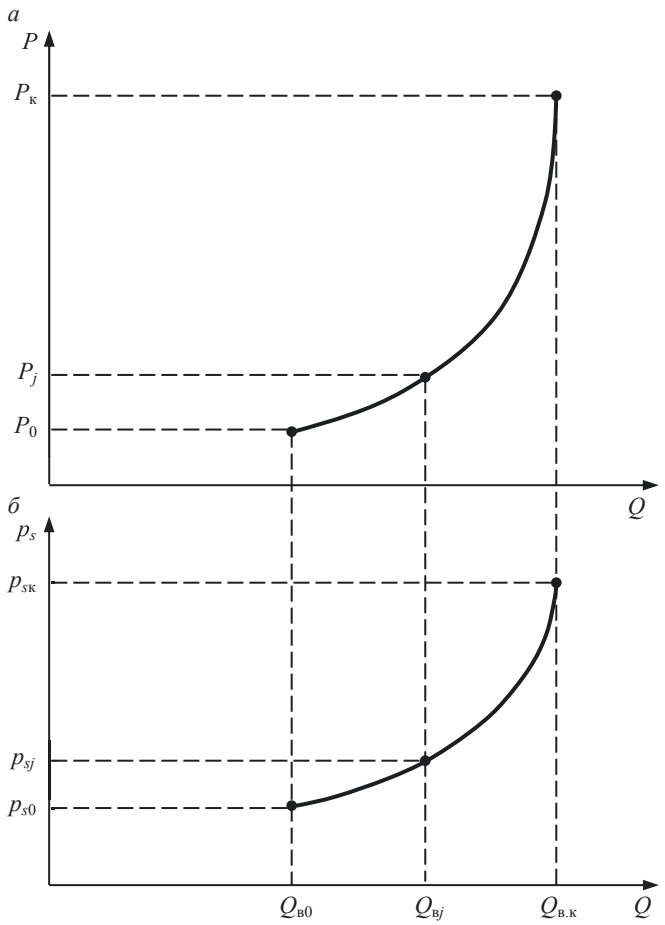

Рисунок 3. Аэродинамическая характеристика интеллектуального мехатронного модуля. Зависимость от производительности Q: *а* – текущего значения мощности на валу вентилятора P; *б* – статического давления p_s

Figure 3. Aerodynamic characteristics of the intelligent mechatronic module. Dependence between the capacity and Q: *a* – current value of power on the fan shaft P; *б* – static pressure p_s

В течение всего периода проходки вентилятор нерегулируемой УМП создает избыточный расход и, следовательно, потребляет больше электроэнергии, чем вентилятор ИММ. Снижение энергопотребления оценивается следующим образом.

В соответствии с положениями механики жидкости и газа перепад статического давления ps на участке герметичного воздуховода определяется по формуле [17]:

$$p_s = \lambda \frac{L}{d} \rho \frac{v^2}{2} + \sum_{i=1}^{m} \zeta_i \rho \frac{v^2}{2}, \tag{1}$$

где λ – коэффициент Дарси; L, d – длина и внутренний диаметр участка воздуховода соответственно; ρ – плотность воздуха; v – усредненная по поперечному

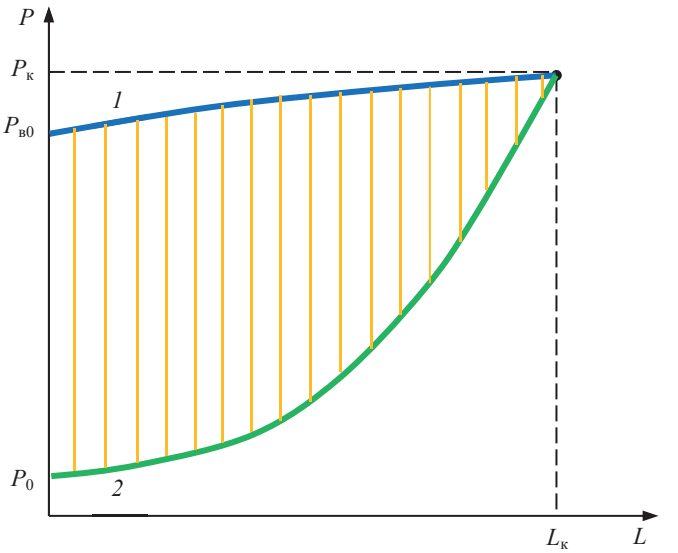

Рисунок 4. Характер изменения мощности на валу вентилятора в период проходки выработки: *1* – нерегулируемая установка местного проветривания; *2* – интеллектуальный мехатронный модуль

Figure 4. The nature of the power change on the fan engine shaft in the course of tunneling: *1* – unregulated mine auxiliary fan; *2* – intelligent mechatronic module

сечению воздуховода скорость потока; ζ_i – коэффициент местного сопротивления номер i; m – число местных сопротивлений.

В роли местных сопротивлений выступают, как правило, колена или отводы, расположенные на переходном участке воздуховода.

Связь производительности вентилятора с длиной реального воздуховода L вследствие утечки выглядит таким образом:

$$Q_{\text{в}}(L) = Q_{\text{тр}}(1 + aL) = Q_{\text{тр}}(1 + av_{\text{пр}}t),$$

где $Q_{\text{в}}$ – расход на входе в воздуховод, т. е. производительность вентилятора; $v_{\text{пр}}$ – скорость проходки; t – время, в течение которого осуществляется проходка.

С учетом выражения

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2},$$

где Q – расход в сечении, формула (1) применительно к реальному воздуховоду после алгебраических преобразований принимает следующий вид:

$$p_s = 0{,}81\frac{\rho}{d^4}\left(\lambda\frac{L}{d}\bar{Q}^2 + \sum_{i=1}^{m}\zeta_i Q_{\text{в}}^2\right), \tag{2}$$

где $\bar{Q}$ – средняя квадратичная величина расхода на участке воздуховода длиной L, рассчитывается с использованием выражения (1).

При выводе формулы (2) считалось, что расход через местные сопротивления равен $Q_в$, так как они расположены вблизи к входному сечению воздуховода.

Функция (2) ступенчатая, однако, принимая во внимание многочисленность ступеней, а также с целью упрощения рассуждений, в дальнейшем считаем ее плавной.

Текущее значение мощности на валу вентилятора в составе ИММ:

$$P = \frac{p_s Q_в}{\eta},$$

где η – статический КПД вентилятора.

Анализ результатов. Характер зависимостей p_s и P от производительности вентилятора ИММ показан на рис. 3. Обозначения: $Q_{в0}$, p_{s0}, P_0 – производительность вентилятора, избыточное статическое давление и мощность на валу вентилятора в начале проходки ($L = 0$); $Q_{в.к}$, $p_{sк}$, $P_к$ – то же в конце проходки ($L = L_к$); $Q_{вj}$, p_{sj}, P_j – то же при некоторой промежуточной длине воздуховода $L = L_j$.

Характер зависимости мощности на валу вентилятора за период проходки показан на рис. 4. В начале проходки мощность на валу вентилятора нерегулируемой УМП (кривая *1*) составляет $P_{в0}$, по мере удлинения выработки она несколько повышается, и при $L = L_к$ становится равной $P_к$.

Мощность на валу вентилятора ИММ (кривая *2*) в начале проходки равна P_0, а в момент $L = L_к$ принимает значение $P_к$. Площадь заштрихованного участка между линиями *1* и *2* есть объем электроэнергии, сэкономленной в течение периода проходки за счет использования ИММ [18].

Вывод. Преобразование УМП в ИММ обеспечит подачу требуемого количества свежего воздуха в призабойную зону и таким образом повысит безопасность труда горнорабочих. Оперативное управление производительностью ИММ приведет к существенному снижению энергозатрат и создаст благоприятные условия для оптимизации проветривания по критерию «цена–качество».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кобылкин С. С. Методологические основы системного проектирования вентиляции шахт: дис. … д-ра техн. наук. М., 2018. 322 с.

2. «Умная шахта»: безопасность превыше всего. URL: https://dprom.online/mtindustry/bezopasnost-prevyshe-vsego // (дата обращения 17.01.2022).

3. Грязев М. В., Качурин Н. М., Воробьев С. А. Математические модели аэрогазодинамических и теплофизических процессов при подземной добыче угля на различных стадиях отработки месторождений // Записки Горного института. 2017. Т. 223. С. 99–108.

4. Проветривание горных выработок рудников ООО «УГМК-Холдинг» / В. В. Заворницын [и др.]. Саратов: Ай Пи Ар Медиа, 2019. 142 с.

5. Hu C., Wu D. A novel gas drainage technology for lower protected coal seams: Application and verification in Xinzhuangzi coal mine, Huainan coalfield // IPPTA: Quarterly Journal of Indian Pulp and Paper Technical Association. 2018. Vol. 30. No. 7. P. 801–808.

6. Скопинцева О. В., Баловцев С. В. Управление аэрологическими рисками угольных шахт на основе статистических данных системы аэрогазового контроля // ГИАБ. 2021. № 1. С. 78–89. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89

7. Килин А. Б., Галкин В. А., Макаров А. М., Резников Е. Л., Кравчук И. Л., Перятинский А. Ю. Надежное обеспечение безопасности труда – основа повышения его производительности и эффективности // Уголь. 2022. № 1. С. 18–25.

8. Колесниченко И. Е., Артемьев В. Б., Колесниченко Е. А., Черечукин В. Г., Любомищенко Е. И. Предотвращение взрывов угольной пыли и метана в горных выработках: теория и практика // Горная промышленность. 2017. № 4(134). С. 26–29.

9. Zhang J., Xu K., You G., Wang B., Zhao L. Causation analysis of risk coupling of gas explosion accident in Chinese underground coal mines // Risk Analysis. 2019. Vol. 39. No. 7. P. 1634–1646. DOI: 10.111/risa.13311

10. Один человек пострадал при взрыве на Сибайском ГОК. URL: https://ufa.bezformata.com/listnews/postradal-pri-vzrive-na-sibajskom/56720531/ (дата обращения: 17.01.2022).

11. Семин М. А., Гришин Е. Л., Левин Л. Ю., Зайцев А. В. Автоматизированное управление вентиляцией шахт и рудников. Проблемы, современный опыт, направления совершенствования // Записки Горного института. 2020. Т. 246. С. 623–632. DOI: 10.31897/ PMI.2020.6.4

12. Rodriguez-Diaz O.-O., Novella-Rodriguez D. F., Witrant E., Franco-Mejia E. Control strategies for ventilation networks in small-scale mines using an experimental benchmark // Asian Journal of Control. 2020. Vol. 23. Iss. 1. DOI: 10.1002/asjc.2394

13. Kapea N., Goertz B. Development of mine dust sampling device for use in underground coal mines // Proc. of 16th North American Mine Ventilation symposium. Colorado, USA. 2017. P. 267–273.

14. Yi Zhebg, Jerry C. Tien, Ying Li. Comparison of diffuser assisted ventilation and push-pull systems for DPM control in a dead-end entry // Proc. of the 16th North American Mine Ventilation symposium. Colorado, USA. 2017. P. 149–158.

15. Петроченков А. С., Даденко Д. А., Поносова Л. В. К вопросу о классификации автоматизированных систем управления // Вестник ПГТУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2009. № 3. С. 243–255.

16. Таугер В. М. Конструирование мехатронных модулей. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. 261 с.

17. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.

18. Минин В. В., Таугер В. М., Минин И. В. Направления развития рудничной вентиляции // Известия вузов. Горный журнал. 2022. № 4. С 17–25.

Поступила в редакцию 1 февраля 2023 года

Сведения об авторах:

Таугер Виталий Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры технической механики Уральского государственного горного университета. E-mail: tauger2016@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-0569-3147

Кочнева Людмила Викторовна – старший преподаватель кафедры безопасности горного производства Уральского государственного горного университета. E-mail: lyu7660@yandex.ru

Волков Евгений Борисович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой технической механики Уральского государственного горного университета. E-mail: evgeniy.volkov.ursmu@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-8313-3137

DOI: 10.21440/0536-1028-2023-2-136-145

Mine auxiliary fan in the form of an intelligent mechatronic module

Vitalii M. Tauger[1], Liudmila V. Kochneva[1], Evgenii B. Volkov[1]
[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. *High-quality ventilation of underground workings is an important condition for safe and accident-free mining. Research on aerological situation control in work areas is ongoing, but the problem of creating reliable adaptive ventilation systems for shafts and mines remains urgent despite the progress made. In course of excavation, the system of workings on the horizon develops a highly complex structure. Auxiliary ventilation is often the only way to achieve high-quality air exchange in the working area.*

Methods of research. *To continuously provide the working area with an estimated amount of fresh air, as well as to intensify ventilation if the concentration of toxic contaminants is increased, mine auxiliary fans (MAF) are used. The best way to improve MAF environmental and economic efficiency is to automatically control the fan capacity.*

Results and analysis*. The program embedded in the programmable logic controller (PLC) provides for comparing the transmitters readings and the aerological situation allowed by the parameters as well as making a decision on changing the fan capacity. If the change is required, the PLC sends an appropriate command to the controller to adjust the fan engine speed. The MAF scheme is simplified if the blind drift is straight because the transmitter is in the line of sight of the receiver and there is no need for a repeater. The UMP design is of a minimal complexity when the mine working is straight and the control task is limited to ensuring constant air flow supplied to the bottom-hole zone. Out of all the data devices, only the flow transmitter remains in the circuit,*

while the repeater and PLC are excluded. It should also be noted that during the entire period of tunneling, the fan of an unregulated MAF creates an excess power consumption, therefore consuming more electricity than the fan of an intelligent mechatronic module (IMM).
Conclusions. *Conversion of MAF to IMM will provide the required amount of fresh air to the bottom-hole zone increasing the safety of miners. Real-time control of IMM capacity will significantly reduce energy consumption and create favorable conditions for optimizing ventilation according to the "price-quality" criterion.*

Keywords: *mine ventilation; automated control system; horizon ventilation; bottom-hole zone; mine auxiliary fan; intelligent mechatronic module; programmable logic controller; work area; duct; energy consumption.*

REFERENCES

1. Kobylkin S. S. *Methodological fundamentals of shaft ventilation systematic design: DSc Eng. Diss*. Moscow: 2018. (In Russ.)

2. *"Smart mine": safety comes first*. Available from: https://dprom.online/mtindustry/bezopasnost-prevyshe-vsego // [Accessed 17 January 2022]. (In Russ.)

3. Griazev M. V., Kachurin N. M., Vorobiev S. A. Mathematical models of airgas dynamic and thermophysical processes during underground mining of coal at various stages of field mining. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2017; 223: 99–108. (In Russ.)

4. Zavornitsyn V. V. et al. *Mine workings aeration at JSC UMMC mines*. Saratov: IPR Media Publishing; 2019. (In Russ.)

5. Hu C., Wu D. A novel gas drainage technology for lower protected coal seams: Application and verification in Xinzhuangzi coal mine, Huainan coalfield. *IPPTA: Quarterly Journal of Indian Pulp and Paper Technical Association*. 2018; 30(7): 801–808.

6. Skopintseva O. V., Balovtsev S. V. Air quality control in coal mines based on gas monitoring statistics. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2021; 1: 78–89. (In Russ.) Available from: doi: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89

7. Kilin A. B., Galkin V. A., Makarov A. M., Reznikov E. L., Kravchuk I. L., Periatinskii A. Iu. Reliable accident prevention as the basis for productivity and efficiency improvement. *Ugol = Russian Coal Journal*. 2022; 1: 18–25. (In Russ.)

8. Kolesnichenko I. E., Artemiev V. B., Kolesnichenko E. A., Cherechukin V. G., Liubomishchenko E. I. Preventing the explosion of dust coal and methane in mine workings: theory and practice. *Gornaia promyshlennost = Mining Industry*. 2017; 4(134): 26–29. (In Russ.)

9. Zhang J., Xu K., You G., Wang B., Zhao L. Causation analysis of risk coupling of gas explosion accident in Chinese underground coal mines. *Risk Analysis*. 2019; 39(7): 1634–1646. Available from: doi: 10.111/risa.13311

10. *One person hurt in explosion at Sibaisky GOK*. Available from: https://ufa.bezformata.com/listnews/postradal-pri-vzrive-na-sibajskom/56720531/ [Accessed 17 January 2022]. (In Russ.)

11. Semin M. A., Grishin E. L., Levin L. Iu., Zaitsev A. V. Automated ventilation control in mines. challenges, state of the art, areas for improvement. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2020; 246: 623–632. (In Russ.) Available from: doi: 10.31897/ PMI.2020.6.4

12. Rodriguez-Diaz O.-O., Novella-Rodriguez D. F., Witrant E., Franco-Mejia E. Control strategies for ventilation networks in small-scale mines using an experimental benchmark. *Asian Journal of Control*. 2020; 23(1). Available from: doi: 10.1002/asjc.2394

13. Kapea N., Goertz B. Development of mine dust sampling device for use in underground coal mines. In: *Proc. of 16th North American Mine Ventilation symposium*. Colorado, USA. 2017. p. 267–273.

14. Yi Zhebg, Jerry C. Tien, Ying Li. Comparison of diffuser assisted ventilation and push-pull systems for DPM control in a dead-end entry. In: *Proc. of the 16th North American Mine Ventilation symposium*. Colorado, USA. 2017. p. 149–158.

15. Petrochenkov A. S., Dadenko D. A., Ponosova L. V. On the issue of automated control systems classification. *Vestnik PGTU. Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia = PNRPU Bulletin. Electrotechnics, Informational Technologies, Control Systems*. 2009; 3: 243–255. (In Russ.)

16. Tauger V. M. *Designing mechatronic modules*. Moscow: IPR Media Publishing; 2022. (In Russ.)

17. Loitsianskii L. G. *Fluid mechanics*. Moscow: Drofa Publishing; 2003. (In Russ.)

18. Minin V. V., Tauger V. M., Minin I. V. Directions of mine ventilation development. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2022; 4: 17–25.

Received 1 February 2023

Information about the authors:

Vitalii M. Tauger – PhD (Engineering), associate professor of the Technical Mechanics Department, Ural State Mining University. E-mail: tauger2016@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-0569-3147
Liudmila V. Kochneva – senior lecturer, Department of Mine Safety, Ural State Mining University. E-mail: lyu7660@yandex.ru
Evgenii B. Volkov – PhD (Engineering), Head of the Technical Mechanics Department, Ural State Mining University. E-mail: evgeniy.volkov.ursmu@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-8313-3137

Для цитирования: Таугер В. М., Кочнева Л. В., Волков Е. Б. Рудничная установка местного проветривания в виде интеллектуального мехатронного модуля // Известия вузов. Горный журнал. 2023. № 2. С. 136–145. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-2-136-145
For citation: Tauger V. M., Kochneva L. V., Volkov E. B. Mine auxiliary fan in the form of an intelligent mechatronic module. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2023; 2: 136–145. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-2-136-145