

Артюшенко Т.А.
(ГВУЗ «НГУ»)

**СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРОВЕТРИВАНИЕМ РУДНЫХ ШАХТ**

Артюшенко Т.О.
(ДВНЗ «НГУ»)

**СУЧАСНІ ЗАСОБИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ
ПРОВІТРЮВАННЯМ РУДНИХ ШАХТ**

Artyushenko T.A.
(SHEI “NMU”)

**UP-TO-DATE FACILITIES FOR ON-LINE VENTILATION CONTROL
IN THE ORE MINES**

Аннотация. Обоснована необходимость применения регулятора расхода воздуха в шахтной вентиляционной сети для обеспечения безопасных условий труда горнорабочих. Приведены результаты анализа состояния проветривания рудников Кривбасса и средств регулирования расхода воздуха по выработкам шахты. Предложено для управления вентиляционными потоками на рабочих горизонтах и в очистных блоках применять регуляторы расхода воздуха парашютного типа. Предложена новая конструкция регулятора, конструктивные особенности которого позволяют улучшить его эксплуатационные характеристики, повысить эффективность регулирования расхода воздуха в горных выработках шахтной вентиляционной сети. Изучено влияние длины строп управления на величину изменения степени перекрытия выработки при регулировании расхода воздуха. Приведены результаты испытаний регулятора на рудных шахтах.

Ключевые слова: регулятор расхода воздуха, проветривание, аэродинамическое сопротивление, управляющее воздействие, расходная характеристика.

На современных горных предприятиях по добыче руды подземным способом интенсификация производства основана на использовании прогрессивных технологий и современной техники. При этом технологические процессы такие как: бурение шпуров и скважин, взрывные работы при разрушении горного массива и дроблении негабарита, выпуск, погрузка и транспортирование горной массы сопровождаются выделением большого количества пыли, вредных и опасных газов. Несмотря на то, что при выполнении практически всех технологических операций предусмотрены и применяются эффективные средства и способы пылеподавления и пылеулавливания, запыленность на рабочих местах зачастую превышает санитарные нормы. Комплексный подход к проблеме защиты горнорабочих от влияния пылевого аэрозоля позволяет решить эту проблему путем применения индивидуальных противопылевых средств защиты органов дыхания.

Совершенно иначе обстоит дело с обеспечением безопасных условий труда при ведении взрывных работ. В настоящее время самым эффективным способом по снижению концентрации и удалению газообразных веществ в шахтной атмосфере рабочих зон является эффективная вентиляция.

Последовательный переход горных работ на более глубокие горизонты, сопровождается увеличением длины и разветвленности сети горных выработок. Это приводит к увеличению затрат на вентиляцию, снижению безопасности ведения горных работ и эффективности проветривания. На практике, с учетом топологических особенностей вентиляционных систем рудных шахт и динамики потребности шахтных потребителей в чистом воздухе, управление вентиляционными потоками рекомендуется осуществлять на четырех уровнях. При производстве массовых и технологических взрывов для форсированного проветривания отдельных блоков и горизонтов после взрывных работ регулирование обеспечивается путем изменения подачи вентиляторов главного проветривания шахты. Распределение воздуха по горизонтам осуществляется при помощи регуляторов размещаемых в главных воздухоподающих выработках. Управление воздушными потоками в выработках блоков и распределение воздуха по блокам реализуется регуляторами четвертого и третьего уровней.

Наряду с технологическими и транспортными расходами горного предприятия, процесс проветривания горных выработок шахтной вентиляционной сети считается одним из самых энергоемких. Известно, что почти 30 % электроэнергии, потребляемой шахтами, расходуется на проветривание горных выработок [1]. Анализ состояния проветривания рудников Кривбасса показал, что, несмотря на то, что фактическая производительность главных вентиляторов в 1,25 раза превышает расчетную, горные работы обеспечены воздухом на 103 %, а к основным потребителям (забоям) он поступает в количестве всего 73 % от расчетной потребности [2]. Повышение эффективности проветривания и безопасности ведения горных работ может быть достигнуто в результате рационального перераспределения воздуха между шахтными потребителями путем применения качественных, дешевых и простых в управлении регуляторов расхода воздуха.

Анализ известных конструкций регулирующих устройств показал, что наилучшим образом решена задача по разработке регулирующих устройств, пригодных для эксплуатации в воздухоподающих выработках откаточных горизонтов [3, 4,]. Установлено, что последние два уровня регулирования расходами воздуха (распределение воздуха между блоками и в блоках), недостаточно обеспечены эффективными регулируемыми устройствами. Эксплуатация этих устройств осуществляется в условиях интенсивного горного давления, воздействия ударных воздушных волн, при малом сроке службы. Для управления проветриванием в таких условиях предпочтительнее использовать мобильные вентиляционные устройства из эластичных воздухонепроницаемых материалов.

Первые разработки этих устройств, предполагали применение надувных конструкций. Наряду с положительными свойствами (хорошая герметичность перекрытия выработки независимо от направления движения воздуха и его ко-

личества), поддержание их в рабочем состоянии требует наличия магистрали сжатого воздуха. При эксплуатации надувных конструкций в условиях воздействия воздушных ударных волн, происходит их смещение в направлении воздействия ударной волны. Плотный контакт оболочки со стенками при ее продольном смещении сопровождается разрывами, что приводит к потере устойчивости устройства и снижению эффективности перекрытия выработки.

Для управления вентиляционными потоками в выработках находящихся в зоне влияния горных работ и в очистных блоках, целесообразно применять вентиляционные устройства парашютного типа. Вопросам разработки и эффективного применения шахтных вентиляционных устройств данного типа посвящено много работ. Первые публикации о конструкции и применении парашютных перемычек в шахтах появились в отечественных и зарубежных источниках научной информации практически одновременно [3, 4]. Благодаря наличию целого ряда положительных свойств (небольшая масса и трудоемкость установки, широкий диапазон перекрываемых площадей поперечных сечений горных выработок, высокое аэродинамическое сопротивление) парашютные перемычки достойно заняли свое место в перечне технических средств оснащения горноспасательных подразделений [5]. Последующее совершенствование парашютных перемычек развивалось в направлении улучшения защитных свойств устройства при ведении горноспасательных работ.

Вместе с тем оперативное управление проветриванием рудных шахт при нормальных вентиляционных режимах, возможно при условии применения регулирующих устройств обеспечивающих плавное регулирование расхода воздуха. Сложность решения поставленной задачи заключается в том, что расходная характеристика регулятора отрицательного типа, установленного в выработках шахтной вентиляционной сети, имеет нелинейный вид. Для получения линейной расходной характеристики, площадь проема для прохода воздуха через регулятор должна изменяться определенным образом. На вид этой зависимости влияют: топология шахтной сети, место размещения выработки с регулятором в общей сети, начальное аэродинамическое сопротивление выработки и характер изменения сопротивления регулятора от степени перекрытия проходного сечения для воздуха. Поставленная задача была успешно решена применительно к стационарным регулирующим устройствам при разработке полидиафрагменного регулятора [6].

Попытка реализовать идею полидиафрагменного регулятора в конструкции парашютного типа ввиду своей нерациональности так и осталась в качестве предложения. К настоящему времени известны только отдельные образцы регулирующих устройств парашютного типа, обеспечивающие плавное регулирование расхода воздуха [7]. К недостаткам этой конструкции следует отнести сложность управления регулятором и недостаточную глубину регулирования.

Для решения практических задач управления проветриванием рудных шахт в Национальном горном университете разработана конструкция регулятора расхода воздуха парашютного типа (РРВПТ). Шахтный регулятор расхода воздуха (рис.1) содержит привод 1, выполненный в виде лебедки с тяговым кана-

том 2, который через разъемное соединительное устройство 4 соединен со стропами управления 5. Стропы пропущены через ползун 6 с возможностью перемещения его по стропам и фиксации в любом месте в пределах их длины. Исполнительный орган регулятора 9 выполнен из воздухонепроницаемого материала в виде боковой поверхности цилиндра. Край полотнища основания исполнительного органа посредством элементов крепления 7 (карабинов) пристегнут к тросу 8, закрепленному по периметру горной выработки. На внешней поверхности полотнища закреплены равномерно распределенные поперечные 10 и продольные 11 ленты упрочняющего каркаса, к которым со стороны основания крепятся карабины 7, а с другой стороны к петлям 12 присоединены свободные концы строп управления 5. По свободному краю полотнища закреплена полая кольцевая камера 13, в которую заведен стягивающий трос 15, концы которого через отверстие 14 выведены наружу.

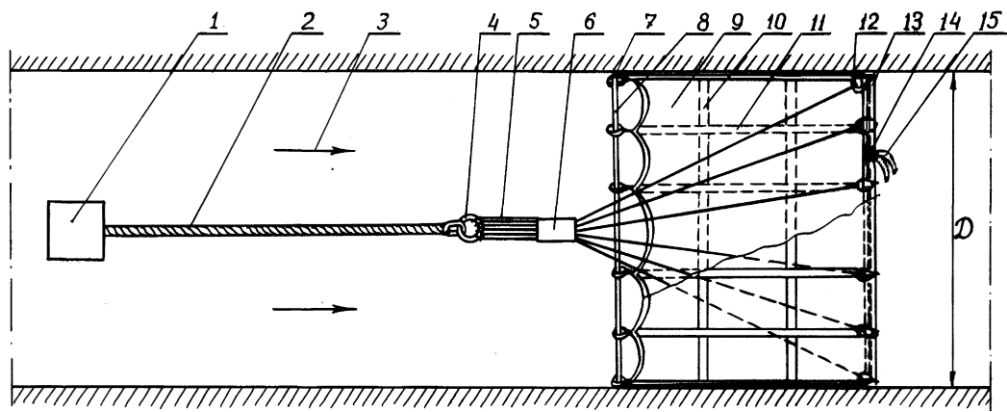


Рис. 1 – Шахтный регулятор расхода воздуха парашютного типа (в разрезе), размещенный в горной выработке в открытом положении

Работает регулятор следующим образом. В месте установки исполнительного органа регулятора, по периметру выработки натягивается трос крепления 8. Полотнище исполнительного органа растягивается вдоль выработки основанием навстречу воздушному потоку 3 и при помощи карабинов крепления 7 край основания пристегивается к тросу 8. Под воздействием воздушного потока 3 полотнище исполнительного органа расправляется и приобретает форму боковой поверхности цилиндра (см. рис.1). Для выхода на режим регулирования расхода воздуха, стропы управления 5 должны быть слегка натянуты посредством тягового каната 2 и привода 1 навстречу воздушному потоку 3. В этом положении полотнище исполнительного органа прижимается к стенкам выработки воздушным потоком, проходное сечение для воздуха равно поперечному сечению выработки, сопротивление, оказываемое исполнительным органом воздушному потоку, будет минимальным, а расход воздуха в выработке – максимальным.

При дальнейшем натяжении строп управления 5 навстречу воздушному

потоку 3 (см. рис.2), свободный (подвижный) край полотнища исполнительного органа 9 посредством петель 12, продольных лент упрочняющего каркаса 11, заворачивается внутрь боковой цилиндрической поверхности. Проходное сечение для воздуха уменьшается, аэродинамическое сопротивление исполнительного органа воздушному потоку увеличивается, а расход воздуха в выработке падает.

При затягивании свободного (подвижного) края полотнища исполнительного органа 9 стропами управления 5 до уровня крепления края основания к тросу 8, натянутому по периметру выработки, внутренние подвижные края полотнища под действием градиента давления смыкаются в центральной области поперечного сечения выработки и полностью перекрывают проем для прохода воздуха. Регулятор переведен в закрытое положение (рис. 3).

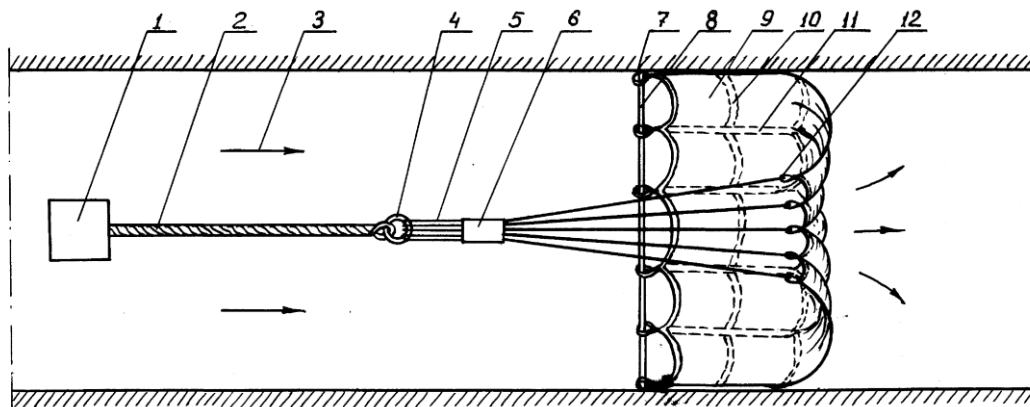


Рис. 2 – Регулятор находится в промежуточном положении при регулировании расхода воздуха в горной выработке

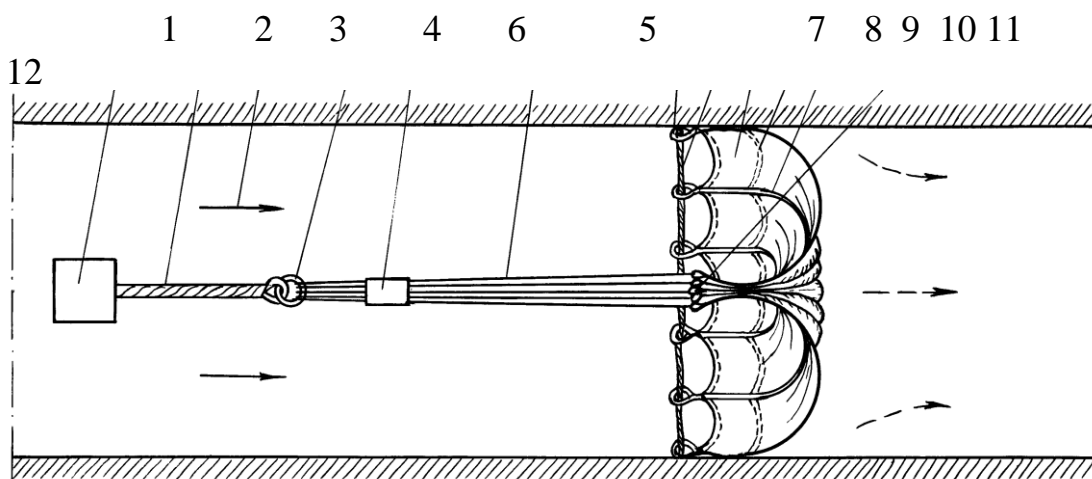


Рис. 3 – Вид регулятора в закрытом положении

Изучение влияния длины строп управления на характер изменения степени перекрытия выработки при регулировании выполнено с использованием методов математического моделирования. Исследования проведены на математической модели процесса управления исполнительным органом регулятора. В качестве управляющих воздействий были выбраны: ход тягового каната привода и длина строп управления. Математическая модель получена в виде системы параметрических уравнений, общим параметром которой, является угол раскрытия строп управления при управлении исполнительным органом регулятора. С целью получения обобщающих результатов длина строп при моделировании фигурировала в относительных величинах в виде коэффициента относительной длины (K_c), определяемого как отношение длины строп к диаметру исполнительного органа регулятора. Результаты моделирования представлены на рис. 4.

Таким образом, при помощи перемещающегося и фиксируемого по длине строп управления ползуна их рабочая длина, вид зависимости площади проходного сечения для воздуха от хода тягового каната, а соответственно и вид расходной характеристики регулятора будут изменяться.

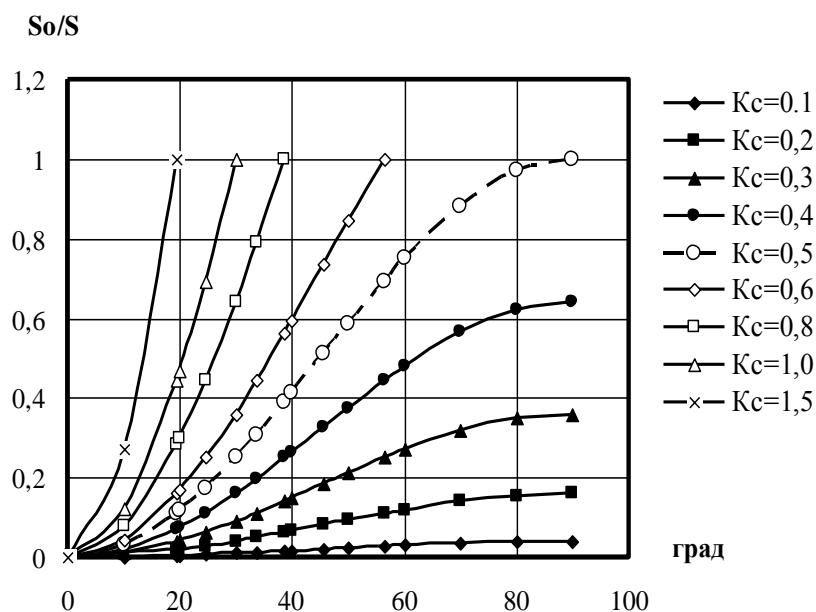


Рис. 4 – Влияние длины строп управления на относительную площадь проема для воздуха

Проверка теоретических результатов исследований проводилась на шахте П-2 Первомайского рудоуправления в Кривбассе. При экспериментальном определении аэродинамических параметров регулятора с изменяющейся длиной строп, использовался типоразмер с диаметром исполнительного органа равного 4 м. Для проведения испытаний регулятор был установлен в орт-коллекторе горизонта 700 м. Площадь поперечного сечения выработки в месте установки регулятора была равна $7,4 \text{ м}^2$. Первоначальный расход воздуха в выработке без регулятора составил $41,8 \text{ м}^3/\text{с}$. После установки регуля-

тора, при открытом его положении, расход воздуха в выработке несколько уменьшился до $39,7 \text{ м}^3/\text{с}$ (на 5% при длине строп управления равной 4 м). При уменьшении длины строп до 2,5 м расход воздуха в выработке с открытым регулятором уменьшился до $38,8 \text{ м}^3/\text{с}$. При закрытых положениях регулятора расходы воздуха были зафиксированы 0,9 и $0,7 \text{ м}^3/\text{с}$ соответственно.

На рис. 5 представлены расходные характеристики регулятора расхода воздуха РРВПТ-4 (диаметр исполнительного органа регулятора равен 4 м) полученные при испытаниях с разной длиной строп управления. Из рисунка видно, что при уменьшенной до 2,5 м длине строп управления, расходная характеристика в области эффективного регулирования расхода воздуха практически линейна. Выполаживание характеристики в области малых расходов воздуха (закрытое положение регулятора) обусловлено наличием утечек по периметру выработки из-за недостаточно плотного прилегания полотнища исполнительного органа регулятора к неровным стенкам.

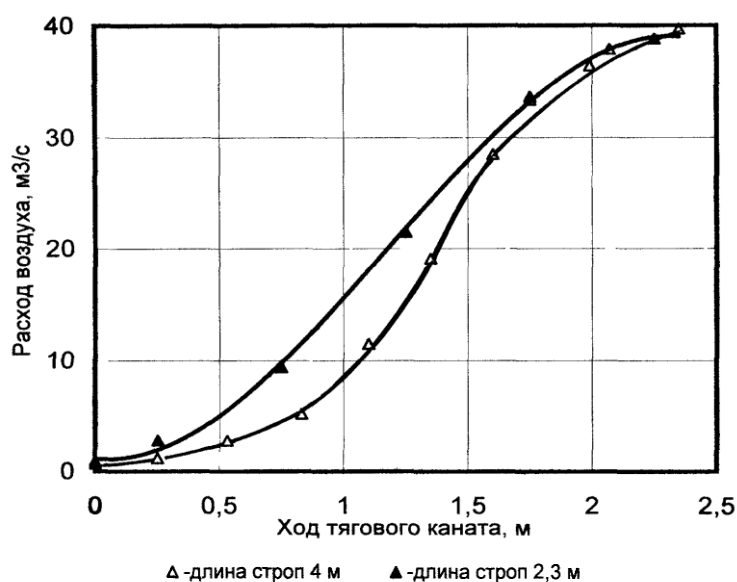


Рис. 5 – Расходная характеристика РРВПТ-4 при разной длине строп

При малых расходах воздуха, а значит и перепадах давления на регуляторе, управляющее воздействие на исполнительный орган регулятора может быть обеспечено вручную путем натяжения тягового каната 2 усилиями одного или двух человек. При больших расходах воздуха и перепадах давления на регуляторе в качестве привода 1 (усилителя) применяется полиспасть. При необходимости могут применяться два полиспаста, присоединяемые последовательно или параллельно. В выработках, имеющих подвод силовой электрической или пневматической сети, в качестве привода 1 может быть использована электрическая или пневматическая лебедка.

Регулятор обладает малой материалоемкостью и трудоемкостью монтажных и демонтажных работ, хорошо адаптируется в выработках с произвольной формой поперечного сечения.

Выполнение исполнительного органа регулятора в виде боковой поверх-

ности цилиндра обеспечивает его раскрытие на все сечение горной выработки, в которой он установлен, что дает возможность в открытом положении уменьшить его начальное сопротивление до минимальной величины, увеличить начальный расход воздуха в выработке с регулятором и расширить диапазон его регулирования.

Применение ползуна, перемещающегося по стропам управления с возможностью его фиксации в любом месте по длине строп управления, обеспечивает изменение их рабочей длины и хода тягового каната от закрытого до открытого положения исполнительного органа регулятора.

Цилиндрическая форма исполнительного органа регулятора и наличие ползуна, посредством которого изменяется рабочая длина строп управления, все это в комплексе позволяет:

- получить близкую к линейной расходную характеристику регулятора, независимо от места его размещения в шахтной вентиляционной сети в выработках с произвольной формой поперечного сечения,
- обеспечить глубину регулирования расхода воздуха в горных выработках с регулятором,
- улучшить условия труда горнорабочих, оперативность, надежность и эффективность проветривания шахтных потребителей ,
- повысить безопасность ведения горных работ при меньших затратах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клебанов, Ф.С. Воздух в шахте /Ф.С.Клебанов. – М.: Наука, 1995.-575с.
2. Ищенко, А.С. Состояние проветривания рудников Кривбасса и пути его совершенствования/А.С.Ищенко, А.А.Литвиненко, Н.В.Шибка//Сб. науч. тр. НГУ, 2002, №14, Т.1. –С.176-181.
3. Пат. 3977312 США, МКИ2 Е 21F 17/00, 1/14. Parachute stopping for mine ventilation use./ Fred N. Kissell (США); -№627.811; Заявл. 31.10.75; Оpubл. 31.08.76; НКИ 98-50. –2 с.
4. А.с. 724774 СССР, МКИ Е 21 F 5/00, 1/14. Шахтная перемышка./ Н.М.Худосовцев, И.Е.Болбат, Г.Б.Ефимов, А.П.Нечипуренко, А.Е.Марголис, И.Д.Половинко, В.И.Кириченко, В.М.Плотников (СССР). -№2669356/22-03; Заявлено 03.10.78; Оpubл. 30.03.80. Бюл. №12. –3с.
5. Смолянов, С.Н. Изоляционные, вентиляционные и взрывоустойчивые перемышки / С.Н. Смолянов, В.И. Голинько, М.С. Мартиненко.- Днепропетровск: Наука и образование, 2002. - 261 с.
6. Аэрология горных предприятий: Учебник для вузов / К.З.Ушаков, А.С.Бурчаков, Л.А.Пучков [и др.] – М.: Недра, 1987.-421 с.
7. А.с. 977818 СССР, МКИ Е 21 F 1/14. Вентиляционная перемышка./ А.Н.Стаханов, С.Ф.Шепелев, Е.Н.Вазилло, Г.И.Селиванов, В.М.Мун, Е.В.Вязниковцев, А.А.Жанбатыров. (СССР). -№3267225/22-03; Заявлено 26.03.81; Оpubл. 30.11.82. Бюл. №44. – 3 с.

REFERENCES

1. Klebanov, F.S. (1995), *Vozdukh v shakhte* [The air in the mine], Nauka, Moscow, Russia.
2. Ishchenko, A.S., Litvinenko, A.A. and Shibka N.V. (2002), “The state of ventilation in Krivbass mines and ways to improve it”, *Sbornik nauchnykh trudov Natsionalnogo gornogo universiteta*, no.14, vol.1, pp. 176-181.
3. Fred N. Kissell (1975), Parachute stopping for mine ventilation use, USA, Pat. 3977312.
4. Hudsovstsev, N.M., Bolbat, I.E., Efimov, G.B., Nechipurenko, A.P., Margolis, A.E., Polovinko, I.D., Kirichenko, V.I. and Plotnikov, V.M. (1978), *Shakhtnaya peremychka* [Inventor's certificate], State registration of Patent of USSR, Moscow, USSR, Pat. № 724774.
5. Smolanov, S.N., Golinko, V.I. and Martinenko, M.S. (2002), *Izolyatsionnye, ventilyatsionnye i vzryvoustoychivye peremychki* [Insulation, ventilation, and explosion-resistant bulkheads], Nauka i obra-

zovanie, Dnepropetrovsk, Ukraine.

6. Ushakov, K.Z., Burchakov, A.S., Puchkov, L.A. and Medvedev, I.I. (1987), *Aerologiya gornykh predpriyatiy* [Aerology of mining enterprises], Nedra, Moscow, Russia.

7. Stahanov, A.N., Shepelev, S.F., Vazillo, E.N., Selivanov, G.I., Mun, V.M., Vyaznikovtsev, E.V. and Zhanbatyrov, A.A. (1982), *Ventilyatsionnaya peremychka* [Inventor's certificate], State registration of Patent of USSR, Moscow, USSR, Pat. № 977818 USSR.

Об авторах

Артюшенко Татьяна Александровна, ассистент кафедры аэрологии и охраны труда, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, 01055@inbox.ru.

About the authors

Artyushenko Tatyana Aleksandrovna, Assistant Lecturer of the Department of Aerology and Labour Protection, State Higher Education Institution “National Mining University” (SHEI “NMU”), Dnepropetrovsk, Ukraine, 01055@inbox.ru.

Анотація. Обґрунтовано необхідність застосування регулятора витрати повітря в шахтній вентиляційній мережі для забезпечення безпечних умов праці гірників. Наведено результати аналізу стану провітрювання рудників Кривбасу і засобів регулювання витрати повітря по виробках шахти. Запропоновано для управління вентиляційних потоками на робочих горизонтах і в очисних блоках застосовувати регулятори витрати повітря парашутного типу. Запропоновано нову конструкцію регулятора, конструктивні особливості якого дозволяють поліпшити його експлуатаційні характеристики, підвищити ефективність регулювання витрати повітря в гірничих виробках шахтної вентиляційних мережі. Вивчено вплив довжини строп управління на величину зміни ступеня перекриття вироблення при регулюванні витрати повітря. Наведено результати випробувань ний регулятора на рудних шахтах.

Ключові слова: регулятор витрати повітря, провітрювання, аеродинамічний опір, керуючий вплив, витратна характеристика.

Abstract. Necessity of air-flow controller application in the mine ventilation system to ensure safe working conditions for miners was proved. Analytical results on operation of ventilation systems and means of air flow control in the tunnels of Krivbass mines are given. Air-flow controllers of parachute type are proposed to be applied for ventilation flow control in the working horizons and stopes. A new design is proposed for the controller main features of which allow to improve its operating characteristics and efficiency of air flow control in the mine ventilation networks. Impact of the controller shrouds on the rate of tunnel deformation was studied at regulated air flow consumption. Results of the air-flow controller testing in the ore mines are given.

Keywords: air-flow controller, ventilation, resistance to air-flow, control action, flow characteristic.

*Статья поступила в редакцию 12.09.2013
Рекомендовано к публикации д.т.н., проф. М.С. Четвериком*