

О ВЛИЯНИИ СТРУЙНОГО ВЕНТИЛЯТОРА, УСТАНОВЛЕННОГО НА ОЧИСТНОМ КОМБАЙНЕ, НА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СВЕРХДЛИННОЙ УГОЛЬНОЙ ЛАВЫ

Станислав Александрович Павлов

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, д. 54, кандидат технических наук, тел. (383) 205-30-30 (доб. 179), e-mail: pavlov_s_a@inbox.ru

В статье приведены результаты исследования аэродинамических процессов, протекающих в сверхдлинных угольных лавах. Проведенный расчет в вычислительном комплексе Ansys CFX, с использованием метода конечных объемов, показал, что в зависимости от места расположения механизированного комплекса в лаве изменяется аэродинамическое сопротивление исследуемого участка. Для повышения эффективности проветривания угольной лавы необходимо снизить ее аэродинамическое сопротивление. В основном оно определяется аэродинамическим сопротивлением механизированной крепи и очистного комбайна, имеющих громоздкие геометрические параметры, изменить которые технологически нельзя. Поэтому необходимо обеспечить принудительное перемещение воздушных масс в обход очистного комбайна, для снижения аэродинамического сопротивления исследуемого участка вентиляционной сети. В статье представлено обоснование способа снижения аэродинамического сопротивления сверхдлинной лавы. Суть которого состоит в увеличении расхода воздуха через лаву за счет установки осевого струйного вентилятора на очистном комбайне.

Ключевые слова: шахта, очистной забой, сверхдлинная лава, очистной комбайн, струйный вентилятор, аэродинамическое сопротивление, механизированная крепь

INFLUENCE OF JET FAN INSTALLED ON A CUTTER-LOADER ON AIR DRAG IN VERY LONG LONGWALL PANELS

Stanislav A. Pavlov

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, Novosibirsk 630091, Russia, Cand. Sci. (Eng.), office: +7 (383) 205 30 30 ext. 179), e-mail: pavlov_s_a@inbox.ru

The article presents studies into aerodynamic processes in very long longwall panels. The computations in ANSYS using the finite volume method show that air drag in longwalls varies versus position of the longwall mining system in the panel. Enhancement of ventilation efficiency in longwalls requires reduction in air drag. The longwall air drag is governed by the air drags of the powered roof support and cutter-loader. The latter have very large dimensions which are technologically unchangeable. For this reason, it is necessary to ensure forced air flow to by-pass the cutter-loader in the longwall panel. The estimate of advantages of the proposed method for the air drag reduction in very long longwall panels is presented. The method consists in increasing air flow rate in the longwall with the help of an axial jet fan mounted on the cutter-loader.

Keywords: mine, production face, very long longwall, cutter-loader, jet fan, air drag, powered roof support

Введение

Известно, [1-9], чем длиннее выработка, тем выше ее аэродинамическое сопротивление и тем меньшее количество воздуха перемещается через нее при прочих равных условиях. Это справедливо и к очистным выработкам, которые в настоящее время имеют тенденцию к увеличению своей протяженности, чтобы отвечать требованиям высокопроизводительных очистных механизированных комплексов [10-14]. Применяемые механизированные комплексы имеют громоздкие геометрические параметры и значительно перекрывают собой поперечное сечение лавы, тем самым существенно увеличивая ее аэродинамическое сопротивление. Изменить геометрические параметры механизированного комплекса технологически нельзя. Поэтому для снижения аэродинамического сопротивления участка лавы с комбайном необходимо обеспечить принудительное перемещение воздушных масс в обход очистного комплекса.

Эту задачу можно решить установкой осевого струйного вентилятора на очистной комбайн [15]. Такое техническое решение позволит снизить аэродинамическое сопротивление участка угольной лавы, не влияя на перепад статического давления в угольной лаве и не увеличивая тем самым утечки воздуха в выработанное пространство, т.к. струйный вентилятор создает только динамическое давление.

Поэтому исследование способа повышения эффективности проветривания сверхдлинных (до 400м) угольных лав без увеличения нагрузки на вентиляторы главного проветривания, является весьма актуальной задачей.

Методы

Каждый добычной участок уникален и, наравне с типовыми параметрами, имеет свои особенности [16-20]. Однако, для выявления общих закономерностей, необходимо ограничиться лишь параметрами, являющимися наиболее типичными (характерными) для угольных горнодобывающих предприятий. Оценим эффективность проветривания с применением струйных вентиляторов, установленных на очистном комбайне, на примере одной из шахт Кузбасса, где выемочный участок имеет большую протяженность [10, 12, 14].

В качестве исходных данных был принят следующий механизированный очистной комплекс: комбайн SL-900, механизированная крепь DBT 220/480 и 2400/5000, забойный скребковый конвейер SH PF 6/1142 [10, 12, 14].

Протяженность лавы принималась 400 м, что классифицирует ее, как сверхдлинную. Кроме того, в исследуемый участок входило сопряжение лавы с вентиляционным и откаточным штреками протяженностью по 200 метров каждый (рис. 1а). Согласно проектным данным шахты, при отработке сверхдлинных лав, скорость воздуха в них должна составить от 1,5 до 2,5 м/с.

Осевой струйный вентилятор принят диаметром 0,6 м, способный развивать скорость воздушного потока на выходе до 30 м/с. При этом расчетная средняя скорость воздуха по сечению лавы, согласно п. 124 ФНиП [21], не превышала допустимой – 4 м/с.

Для удобства сравнения местные сопротивления переведены из вида «безразмерный коэффициент местного сопротивления» к виду «коэффициент аэродинамического сопротивления» с размерностью $1 k\mu = 9,81 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^8$ [5] при следующих параметрах воздуха: температура 18°C и атмосферном давлении 101325 Па .

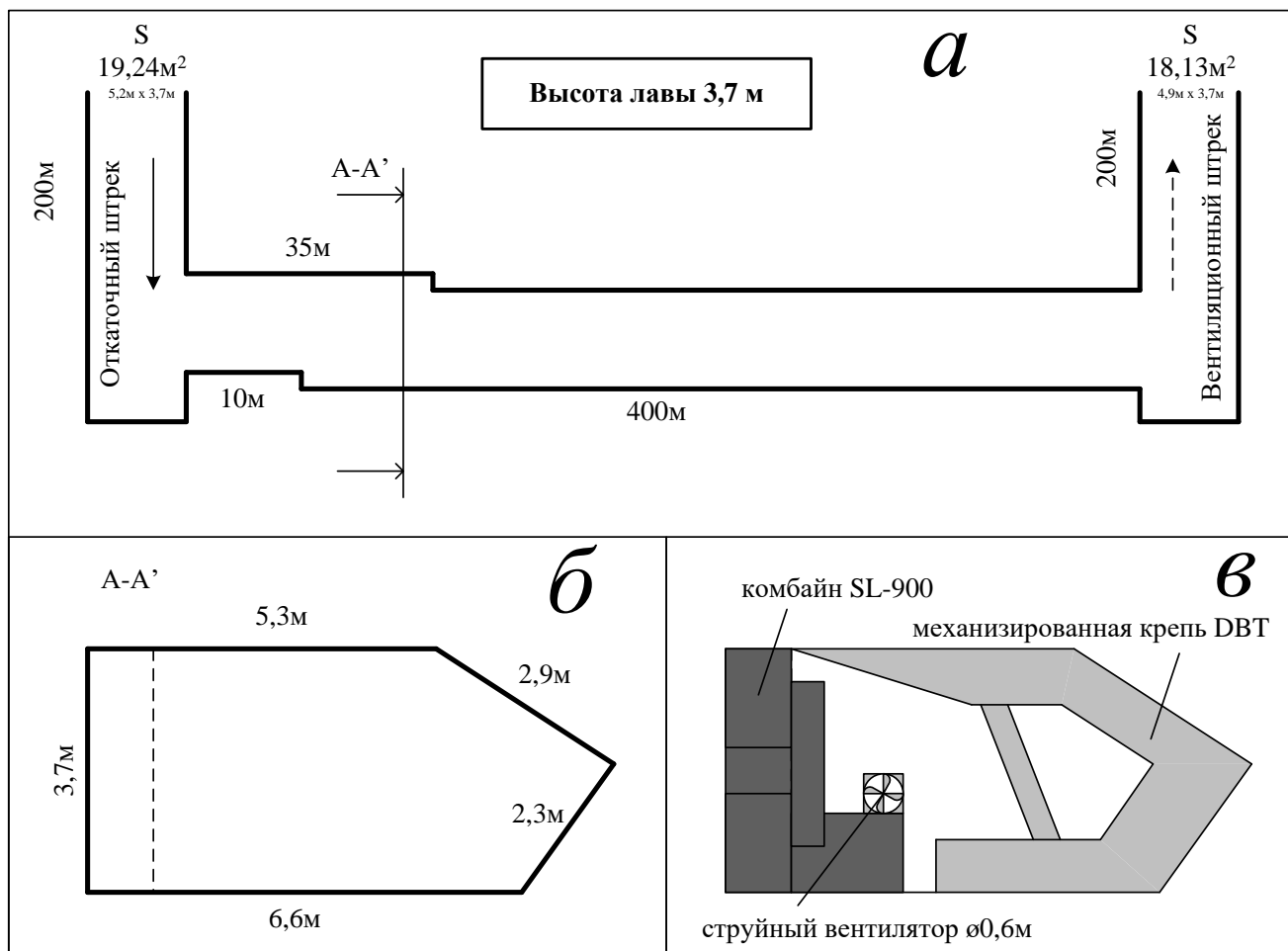


Рис. 1. Схема добычного участка (а), с указанием габаритов и размеров сечения лавы (б), и загромождение сечения лавы очистным механизированным комплексом (в)

В настоящее время существует ряд сертифицированных расчетных комплексов, которые основаны на численном решении уравнений перемещения жидкости или газа. Получить аэродинамические параметры элементов вентиляционной сети шахт возможно в программах вычислительной гидродинамики, в частности Ansys CFX [22-27]. Расчеты сводятся к численному решению трехмерных нестационарных нелинейных уравнений газодинамики Навье-Стокса.

Прежде всего следует отметить степень влияния каждого из элементов «загромождения» поперечного сечения лавы на аэродинамическое сопротивление исследуемого участка [28, 29]. Таким образом, аэродинамическое сопротивление

«пустого» рассматриваемого участка без крепи и комбайна составляет $R = 0,012038 \text{ к}\mu$. При установке механизированной крепи в лаве и штреках, аэродинамическое сопротивление возрастет до $0,034362 \text{ к}\mu$, что в 2,9 раза больше «пустых» выработок. Подобные результаты сопоставимы с аналитическим расчетом сопротивления лав, оборудованных механизированной крепью [5].

Аэродинамическое сопротивление рассматриваемого участка с учетом очистного комбайна будет изменяться, в зависимости от его расположения по длине лавы. В среднем оно составит $0,036197 \text{ к}\mu$, что на 5,3 % больше, чем у выработки, оснащенной механизированной крепью.

Чтобы оценить изменение аэродинамического сопротивления лавы с учетом перемещения по ней механизированного очистного комплекса, ограничимся рассмотрением 6 вариантов (позиций) расположения очистного комбайна (рис. 2).

Позиция 1 соответствует начальному положению очистного комбайна, осуществившего врезку в пласт. Позиция 2 соответствует расположению очистного комбайна на $1/2$ длины лавы. Позиция 3 - $3/4$ длины лавы. Позиция 4 - $7/8$ длины лавы. Позиция 5 - $15/16$ длины лавы. Позиция 6 соответствует крайнему положению очистного комбайна, завершившего проход по лаве, но не преграждающего сечение вентиляционного штрека.

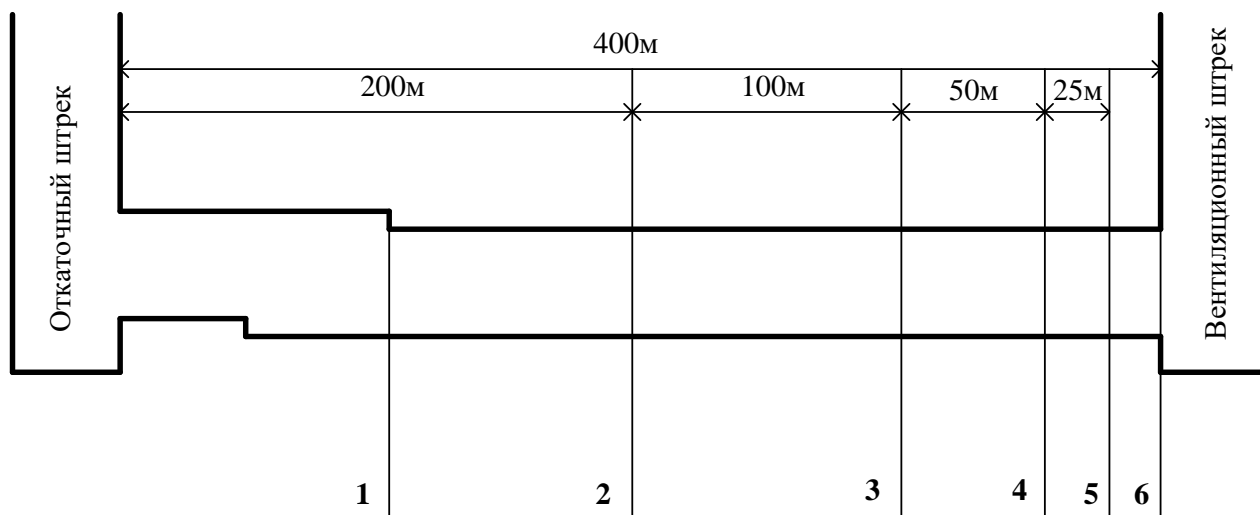


Рис. 2. Схема расположения позиций очистного механизированного комплекса по длине лавы

Проведенный расчет в вычислительном комплексе Ansys CFX с использованием метода конечных объемов показал, как изменяется аэродинамическое сопротивление исследуемого участка в зависимости от места расположения механизированного комплекса в лаве (табл. 1).

Таблица 1

Величина аэродинамического сопротивления рассматриваемого участка шахтной сети с учетом перемещающегося механизированного очистного комплекса по длине лавы, без струйного вентилятора

	Расположение комбайна, номер позиции					
	1	2	3	4	5	6
Аэродинамическое сопротивление, $k\mu$	0,037024	0,038017	0,035921	0,035697	0,035199	0,035323

Результаты

Отразив полученные результаты графически (рис. 3) можно увидеть, что наибольшая величина аэродинамического сопротивления соответствует позиции 2, когда комбайн находится в середине лавы. Наименьшая величина – когда комбайн находится в конце лавы (позиция 5). Взаимное влияние ряда последовательных местных сопротивлений при нахождении очистного комбайна в начале и в конце лавы способствует общему снижению аэродинамического сопротивления. Этот неочевидный факт требует дальнейшего подробного исследования для его объяснения.

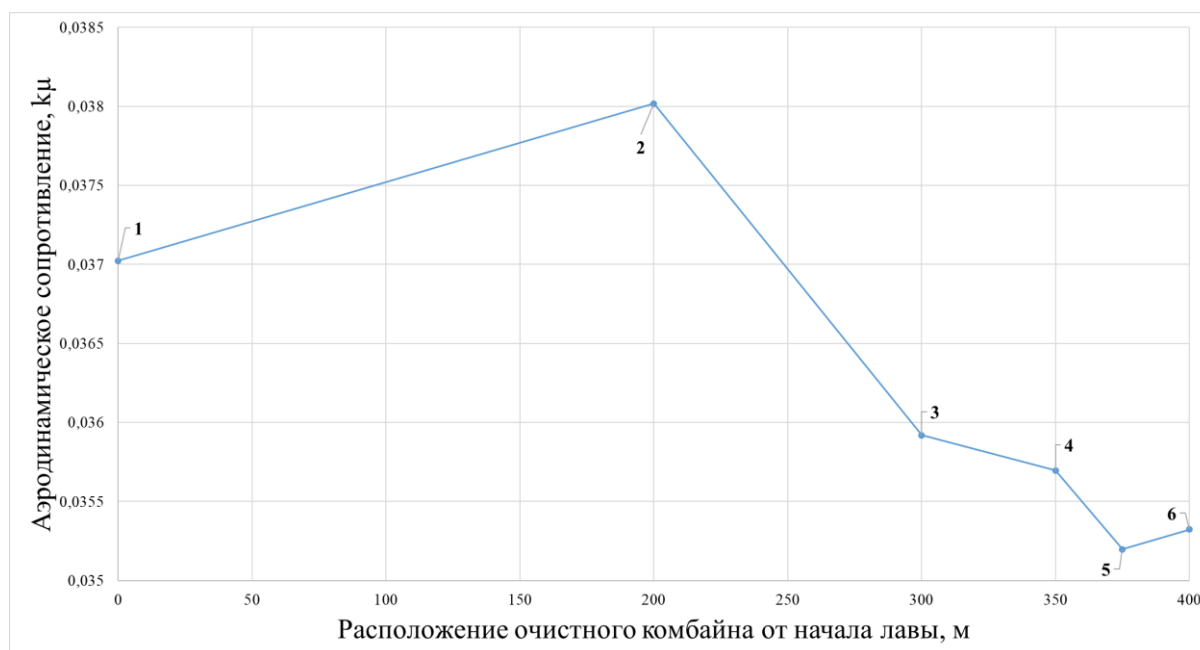


Рис. 3. График величины аэродинамического сопротивления рассматриваемого участка шахтной сети, в зависимости от расположения очистного механизированного комплекса по длине лавы, без учета струйного вентилятора

Получив исходные результаты расчета для проведения сравнения, оценим влияние струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне, на

изменение аэродинамического сопротивления рассматриваемого участка. Примем допущение, что струйный вентилятор имеет постоянную скорость воздушного потока через свое выходное сечение, равную 30 м/с (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение аэродинамического сопротивление рассматриваемого участка шахтной вентиляционной сети, при включении струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне

Режим работы струйного вентилятора	Расположение комбайна, номер позиции					
	1	2	3	4	5	6
0 м/с (выключен)	0,037024	0,038017	0,035921	0,035697	0,035199	0,035323
30 м/с	0,028075	0,029705	0,026705	0,027993	0,031220	0,058872

За счет принудительного перемещения воздушных масс в обход очистного комбайна, происходит значительное снижение аэродинамического сопротивления исследуемого участка (рис. 4). Исключение составляет самый крайний вариант расположения комбайна (позиция 6), когда струя из вентилятора ударяется в стену вентиляционного штрека, создавая таким образом «воздушную пробку» на выходе из лавы.

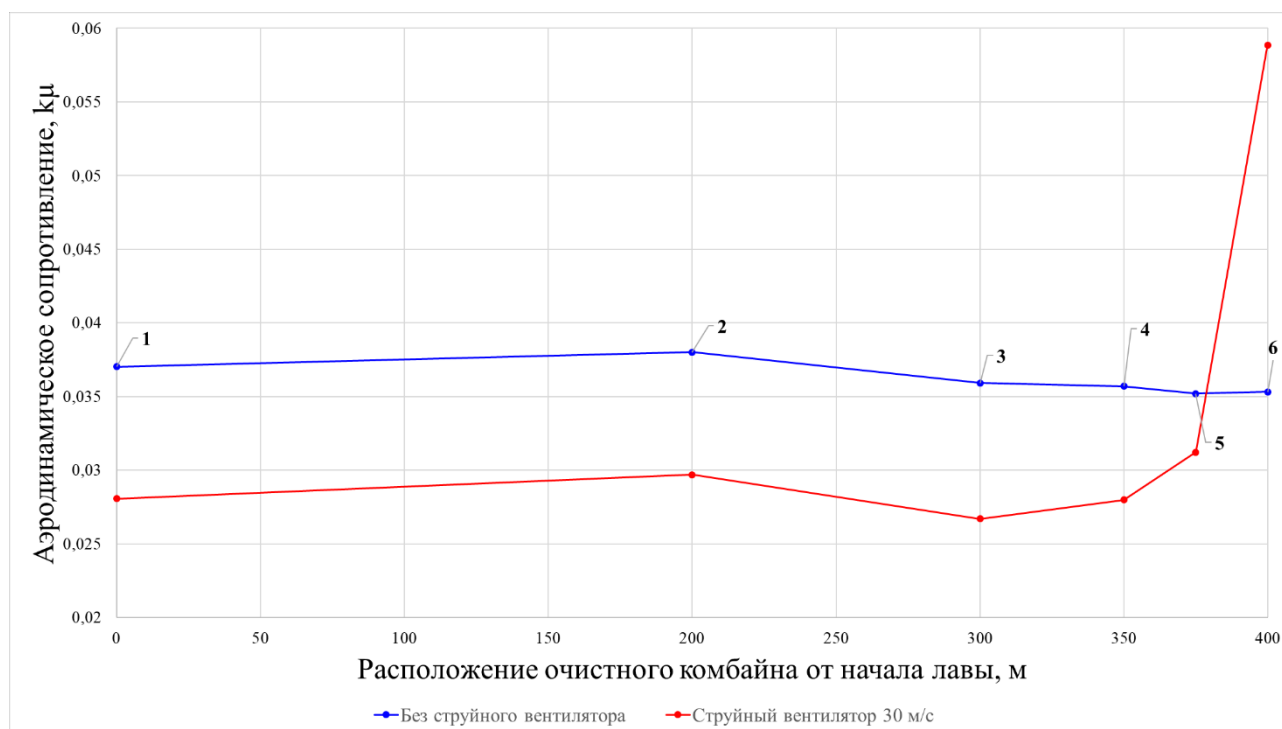


Рис. 4. Графики величины аэродинамического сопротивления рассматриваемого участка шахтной сети, в зависимости от расположения очистного механизированного комплекса по длине лавы и производительности струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне

Обсуждение

Рассмотрим величину отношения аэродинамического сопротивления исследуемого участка без применения струйного вентилятора R_0 с вариантом, учитывающими работу струйного вентилятора R_{30} (табл. 3).

Таблица 3

Отношения аэродинамического сопротивления рассматриваемого участка шахтной сети без применения струйного вентилятора, с расчетными значениями, учитывающими работу струйного вентилятора

Режим работы струйного вентилятора	Отношение сопротивлений	Расположение комбайна, номер позиции					
		1	2	3	4	5	6
30 м/с	R_0/R_{30}	0,76	0,78	0,74	0,78	0,89	1,67

Из табл. 3 видно, что при развиваемой струйным вентилятором скорости воздуха 30 м/с, величина отношения аэродинамических сопротивлений исследуемого участка в среднем составляет (без учета позиции 6) 0,79. Другими словами, если струйный вентилятор, установленный на очистном комбайне, развивает скорость потока воздуха 30 м/с, то это снижает аэродинамическое сопротивление лавы на 21 %.

Оценим, какое влияние окажет снижение аэродинамического сопротивления на расход воздуха, поступающего в забой. Как было отмечено выше, перепад статического давления на границах исследуемого участка остается постоянным, как при работе струйного вентилятора, так и при его отсутствии.

$$\begin{cases} \Delta P = R_0 \cdot Q_0^2 \\ \Delta P = R_{30} \cdot Q_{30}^2 \end{cases}$$

Если отношение $R_0/R_{30} = 0,79$, то подставив это выражение в систему уравнений, получим:

$$Q_{30} = \sqrt{\frac{Q_0^2}{0,79}} = 0,125 \cdot Q_0,$$

где ΔP – перепад статического давления на границах исследуемого участка; R_0 – аэродинамическое сопротивление исследуемого участка без использования струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне; Q_0 – средний расход воздуха на исследуемом участке без использования струйного вентилятора; R_{30} – аэродинамическое сопротивление исследуемого участка с применением струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне, развивающим скорость воздушного потока через выходное сечение 30 м/с; Q_{30} – средний расход воздуха на исследуемом участке с применением струйного вентилятора.

Заключение

Снижение аэродинамического сопротивления исследуемого участка на 21 % увеличит расход воздуха по нему на 12,5 % относительно варианта, когда на очистном комбайне не установлен струйный вентилятор. При условии, что струйный вентилятор не будет создавать «воздушную пробку» при расположении в позиции 6, т.е. будет заблаговременно выключен (на расстоянии 25 м от края забоя, ближнего к вентиляционному штраку).

Благодарности

Данная статья написана по результатам исследований, приведённых в рамках научной темы FWNZ-2021-0004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Местные сопротивления шахтных вентиляционных сетей / А.А. Харев. — М.: Углетехиздат, 1954. — 248 с.
2. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М. О. Штейнберга. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1992. — 672 с.: ил.
3. Внутренние санитарно-технические устройства. Справочник проектировщика. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха кн. 2. / Под ред. Н. Н. Павлова, Ю. И. Шиллера. — М.: Стройиздат, 1992. — 416 с.
4. Аэродинамика вентиляции / В.Н. Посохин. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2008. — 209 с.
5. Рудничная вентиляция: Справочник / Н.Ф. Гращенков, А.Э. Петросян, М.А. Фролов и др.; Под ред. К.З. Ушакова. — 2-е изд., перераб. И доп. — М.: Недра, 1988. — 440 с.
6. Проветривание угольных шахт / Н.Ф. Кременчуцкий. — М.: ГОСГОРТЕХИЗДАТ, 1961. — 240 с.
7. Воздух в шахте : Трактат о проветривании угольных шахт / Ф. С. Клебанов; [Рос. акад. естеств. наук, Ин-т горн. дела им. А. А. Скочинского, Рос. угольная компания]. — М.: Изд. дом "Имидж", 1995. — 574 с.
8. Рудничная вентиляция / А.А. Скочинский, В.Б. Комаров. — М.: Углетехиздат, 1959. — 632с.
9. Рудничная и промышленная аэрология / А.Ф. Милетич, И.М. Яровой, В.Н. Бойков. — М.: Недра, 1972. — 254 с.
10. Ордин А.А. О рекордной длине и производительности очистного забоя шахты имени В.Д. Ялевского / А.А. Мешков, М.А. Волков, А.А. Ордин [и др.] // Уголь. — 2018. — № 7(1108). — С. 4-8.
11. Ордин А.А. Обоснование оптимальной длины и производительности очистного забоя при отработке мощного угольного пласта шахты "Талдинская-Западная-1" / А. А. Ордин, А. М. Тимошенко, Д. В. Ботвенко, А. М. Никольский // Уголь. — 2019. — № 3(1116). — С. 50-54.
12. Ордин А.А. О необходимости изменения методического подхода к расчету дебита метана в высокопроизводительных очистных забоях Кузбасса / А. А. Ордин, А. М. Тимошенко, Д. В. Ботвенко // Горные науки и технологии. — 2020. — Т. 5. — № 2. — С. 82-91.
13. Ордин А.А. О нелинейной зависимости концентрации метана от длины лавы и допускаемой производительности очистного забоя по газовому фактору / А. А. Ордин, А. М. Тимошенко, С. А. Коленчук // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2016. — № 7. — С. 287-299.
14. Калинин С.И. Обоснование суточной добычи угля из лавы длиной 400 метров в условиях шахты им. В.Д. Ялевского / С.И. Калинин, Г.Н. Роут, Ю.М. Игнатов, А.М. Черданцев

// Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 5(129). – С. 27-35.

15. Патент № 2701900 С2 Российская Федерация, МПК E21F 1/00. Способ вентиляции угольной лавы : № 2018100873 : заявл. 10.01.2018 : опубл. 03.10.2019 / А.М. Красюк, И.В. Лугин, С.А. Павлов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук.

16. Забурдяев, В. С. Метановыделение в очистных забоях при высоких нагрузках на лаву / В. С. Забурдяев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № S5. – С. 210-226.

17. Ефимов, В. И. Отработка мощных угольных пластов по технологии "шахта - лава" / В. И. Ефимов, Г. Г. Рябов, А. А. Маликов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2014. – № 2. – С. 94-99.

18. Каркашадзе, Г. Г. Определение концентрации метана в выработанном пространстве по результатам съемки параметров вентиляционного потока вдоль лавы / Г. Г. Каркашадзе, Ю. М. Иванов, Г. П. Ермак // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 12. – С. 256-262.

19. Каркашадзе, Г. Г. Методика расчета притоков метана из отбитого угля в лаве в процессе очистных работ / Г. Г. Каркашадзе, Е. В. Мазаник, Ю. А. Семькин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 6. – С. 18-22.

20. Петров, А. К. О влиянии талых вод на концентрацию метана в шахтах Кузбасса / А. К. Петров, А. А. Ордин, А. М. Никольский // Уголь. – 2017. – № 5(1094). – С. 76-78.

21. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности в угольных шахтах" от 01 января 2021 года (Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 года № 507)

22. Основы работы в ANSYS 17 / Н. Н. Федорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов, Ю.В. Захарова. – М.: ДМК Пресс, 2017. -210 с

23. Электронное пособие ANSYS. Customer Training Material. Introduction to ANSYS Meshing.

24. Лекции по теоретическим методам исследования турбулентности: учебное пособие /Ю. И. Хлопков, В. А. Жаров, С. Л. Горелов. – М.: МФТИ, 2005. – 179 с.

25. Турбулентность: модели и подходы: курс лекций: 4.1 / П. Г. Фрик. – Пермь: ПГТУ, 1998. – 108 с.

26. ANSYS CFX-Solver Theory Guide. Published in the U.S.A/ 2014-2015 SAS IP , Inc.

27. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений / А.В. Габарук, М.Х. Стрелец, М.Л. Шур: учеб. пособие. – СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2012. – 88 с.

28. Павлов С. А. Об изменении аэродинамического сопротивления вентиляционной сети шахты при реверсировании воздушного потока // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2019. – №2. Т.6. 207-211.

29. Павлов С.А. Оценка изменения величины местных аэродинамических сопротивлений элементов вентиляционной сети рудника при реверсивном режиме работы системы вентиляции // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – Том 2, № 4. – С. 212-219.

© С. А. Павлов, 2021