

С. А. Павлов

Способ снижения концентрации метана в сверхдлинной угольной лаве с использованием струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: pavlov_s_a@inbox.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования процесса изменения концентрации метана в сверхдлинной угольной лаве в зависимости от перемещения очистного комбайна. Установка струйного вентилятора на комбайн позволяет увеличить скорость воздушного потока в очистной выработке, что позволяет снизить концентрацию метана на исходящей струе. Проведено сравнение результатов численного моделирования с натурными замерами в действующей угольной шахте Кузбасса, что позволило уточнить математическую модель вздухораспределения в горных выработках. С помощью вычислительных экспериментов методом конечных объемов на обобщенной расчетной модели выемочного участка, определено поле концентрации метана в объеме сверхдлинной угольной лавы. В результате получена зависимость изменения концентрации метана по длине лавы от производительности применяемого струйного вентилятора и параметров очистного механизированного комплекса.

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

S. A. Pavlov

A method for reducing the concentration of methane in very long coal longwall using jet fan installed on a shearer

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

Abstract. The article presents the results of a study of the process of changing the concentration of methane in a very long coal longwall, depending on the movement of a shearer. Installing a jet fan on the shearer allows you to increase the speed of the air flow in the coal longwall, which allows you to reduce the concentration of methane on the outgoing flow. Comparison of the results of numerical simulation with full-scale measurements in the operating coal mine of Kuzbass was carried out, which made it possible to refine the mathematical model of air distribution in mine workings. Using computational experiments by the finite volume method on a generalized computational model of a mining area, the methane concentration field in the volume of very long coal longwall was determined. The dependence of the change in the methane concentration along the length of the longwall on the performance of the used jet fan and the parameters of the mechanized treatment complex was obtained.

Keywords: mine, longwall face, very long longwall, shearer, jet fan, aerodynamic resistance, powered support, methane concentration

Введение

Главными задачами вентиляции шахт является обеспечение требуемым количеством воздуха всех рабочих мест и путей передвижения горнорабочих в подземных выработках, поддержка параметров микроклимата, чтобы концентрация загрязняющих примесей не превышала допустимого уровня. По мере перемещения горных работ на глубокие горизонты повышаются давление и плотность атмосферного воздуха, а также его температура, что требует наращивания количества воздуха, подаваемого в шахту. Кроме того, потребность в повышенном количестве воздуха на глубоких участках шахт вызвано особенностями метана формировать взрывоопасные скопления при определенных параметрах воздушной струи [1-8]. Поэтому, увеличение скорости воздушного потока в выработках является наиболее известным и распространенным методом борьбы с формированием скоплений метана.

Интенсивность метановыделения от всех источников в проходческих выработках и угольном забое неравномерна по времени и зависит от многих геологических и технологических параметров: трещиноватости вскрытого пласта, наличия в нем геологических нарушений, природной метаносности, протяженности выработок, схемы работы очистного комплекса, скорости перемещения горной массы на конвейере, степени измельчения угля комбайном и др. [9]

В очистном забое метановыделение в основном происходит с обнаженной части пласта при разрушении угля очистным комбайном и при транспортировке отбитого угля конвейером вдоль лавы и выработанного пространства. При этом «... концентрация метана в лаве при отсутствии выделения его из выработанного пространства изменяется вдоль лавы по закону, близкому к линейному, возрастая в направлении движения воздуха» [9].

По времени интенсивность метановыделения в лаву от всех источников неравномерна и зависит от многих геологических и технологических параметров [9]. В действующей лаве устранение скоплений метана можно решить установкой осевого струйного вентилятора на очистной комбайн [10]. С одной стороны, такое техническое решение позволит снизить аэродинамическое сопротивление участка угольной лавы, и позволит локально увеличить скорость воздушного потока.

При помощи вычислительных экспериментов проведена оценка эффективности проветривания с применением струйных вентиляторов, установленных на очистном комбайне, на примере одной из шахт Кузбасса, где выемочный участок имеет большую протяженность [11–13].

Методы и материалы

В качестве исходных данных [11, 13] для условий отработки угольного пласта мощностью 2,4 м. Протяженность лавы принята 400 м, что классифицирует ее, как сверхдлинную. Кроме того, в исследуемый участок входит сопряжение лавы с вентиляционным и конвейерным штреками протяженностью по 200 м каждый (рис. 1). Согласно проектным данным шахты при отработке сверхдлинных лав скорость воздуха в них должна составить около 2,5 м/с.

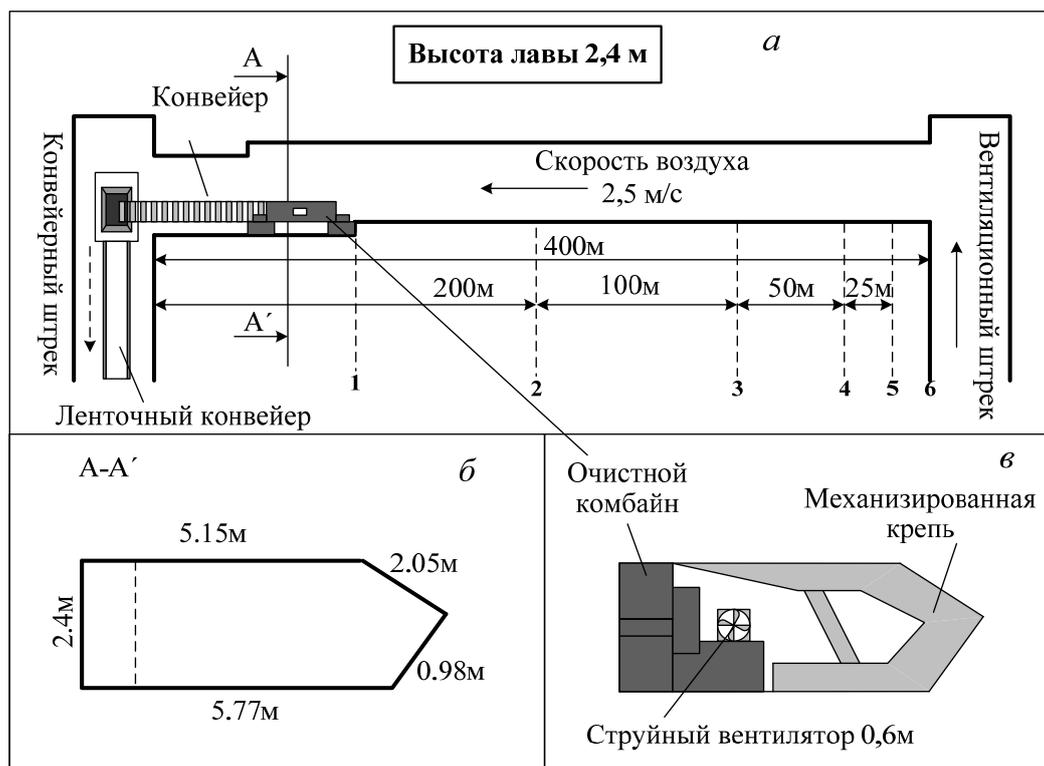


Рис.1 Схема добычного участка с расположением позиций очистного механизированного комплекса по длине лавы (а), с указанием габаритов и размеров сечения лавы (б), загромождение поперечного сечения лавы очистным механизированным комплексом (в)

Осевой струйный вентилятор принят диаметром 0,6 м, с номинальной скоростью воздушного потока на выходе до 30 м/с. При этом расчетная средняя скорость воздуха по сечению лавы, согласно п. 124 ФНиП [14], не превышает допустимой – 4 м/с. По правилам безопасности [14] допустимая концентрация метана на исходящей струе лавы не должна превышать 1%, при достижении этого порога автоматически приостанавливаются все работы, а горнорабочие выводятся из очистного забоя и шахты на поверхность.

На основании полученных натуральных данных в действующей шахты [11], в программном комплексе Ansys CFX [15-17] проведено уточнение математической модели объемного распределения метановоздушной смеси выемочного участка, учитывающей метановыделение из обнаженных поверхностей горного массива (рис. 2) и принят ряд допущений:

- метановыделение от обнаженного пласта, отбитого угля на конвейере и выработанного пространства будет постоянным;
- челноковая схема отработки пласта очистным комбайном;
- утечки воздуха в выработанное пространство приняты осредненным значением, равномерны по всей площади механизированной крепи.

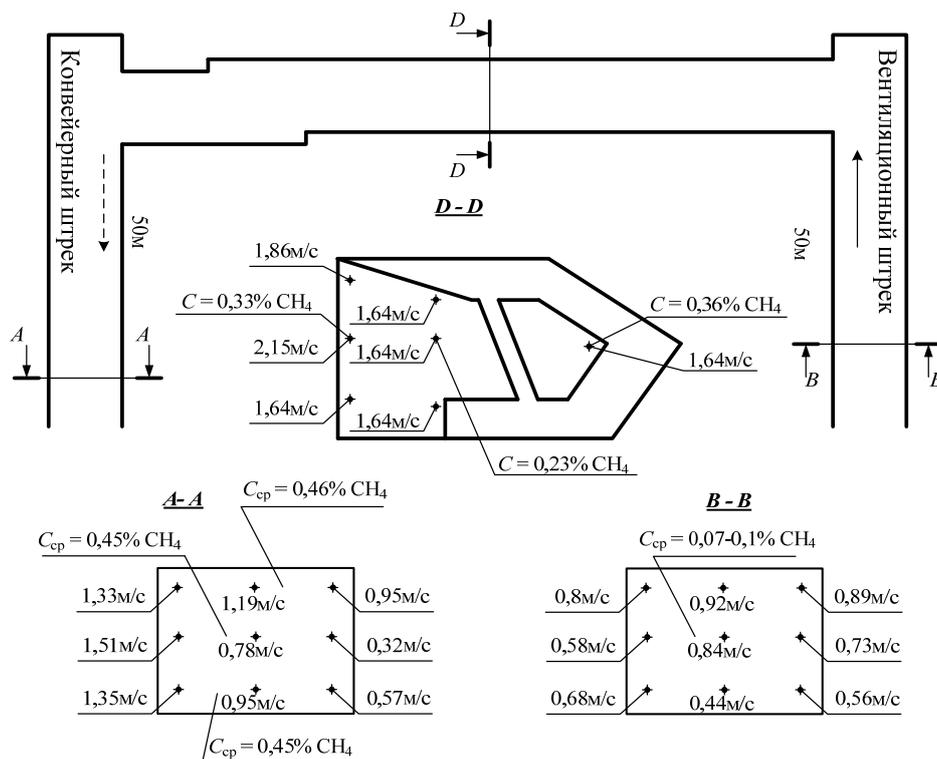


Рис. 2. Результаты натуральных замеров скорости воздуха (м/с) и концентрации метана (% CH₄) в сечениях выработок

Результаты

Поезда начинают движение от станции №1 по левому пути с заданными интервалами, чтобы соответствовать рассматриваемым их частотам движения по линии: 4, 8, 12, 16 и 20 пар в час. После достижения станции №9, поезда меняют направление и идут в обратную сторону по правому пути.

На основании уточненной расчетной модели распределения метановоздушной смеси в лаве проведены вычислительные эксперименты с целью выявления общих закономерностей изменения концентрации метана по длине выработки в зависимости от скорости движения воздуха. С учетом принятых допущений определено, что изменение концентрации метана по длине лавы, по результатам вычисления на расчетной модели, имеет линейную зависимость:

$$C = 0,00073 \cdot L + 0,15, \quad (1)$$

где C — концентрация CH₄ в воздушной струе, %; L — расстояние от начала лавы до точки замера, м

Серия вычислительных экспериментов показала, что чем меньше мощность отрабатываемого пласта и сечение лавы, тем выше концентрация метана в воздухе при одинаковых скоростях его движения вдоль очистной выработки. При этом зависимость концентрации метана от длины выработки имеет общий вид:

$$C = a \cdot L + b, \quad (2)$$

где коэффициенты a и b изменяются нелинейно и зависят от средней скорости движения потока воздуха в лаве V . На основании проведенных исследований определено, что для очистной выработки с мощностью отрабатываемого пласта 2,4 м коэффициента $a = 0,00134 \cdot V^{-1}$, $b = 0,11 \cdot V^{-1} + 0,1$ (рис. 3).

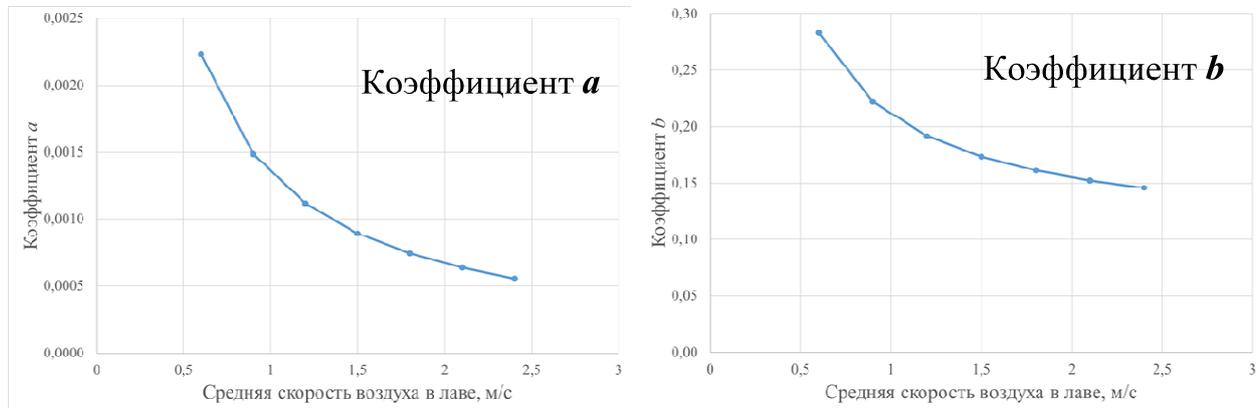


Рис. 3 Изменение коэффициента a и b в зависимости от средней скорости воздуха в лаве

Подставив значения коэффициентов в исходную формулу (2) получим уравнение

$$C = 0,00134 \cdot V^{-1} \cdot L + 0,11 \cdot V^{-1} + 0,1, \%$$

Для оценки влияния производительности струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне, на изменение концентрации метана в выработке воспользуемся результатами, полученными в работах [18–20]. При обеспечении номинальной скорости воздуха 30 м/с на струйном вентиляторе, аэродинамическое сопротивление лавы с мощностью отрабатываемого пласта 2,4 м снизится на 35%. Это снижение увеличит на 24% количество проходящего через нее воздуха без изменения производительности главной вентиляторной установки (рис. 4).

На основании установленных зависимостей изменения концентрации метана по длине очистной выработки от средней скорости движения воздушного потока проведем расчет для рассматриваемой мощности пласта 2,4 м. Результаты расчета представлены в таблице и на рис. 5.

Обсуждение

Анализ полученных результатов показал, что применение струйного вентилятора на очистном комбайне способствует снижению концентрации метана в лаве в 1,08–1,17 раза. При подходе комбайна к краю лавы (по ходу движения воздушной струи) эффективность струйного вентилятора, установленного на нем, снижается. Поэтому на расстоянии 25 м от края забоя, ближнего к конвейерному штреку, струйный вентилятор необходимо выключить.

Проведенные исследования позволили построить поле концентрации метана в выработках. В ходе анализа результатов, был выявлен очаг повышенной

концентрации метана (рис. 6). С приближением очистного комбайна к конвейерному штреку поток воздуха огибает очистной комбайн, проходит через область с повышенной концентрацией метана (близкой к 1%) и выносит его на исходящую струю, где располагаются датчики концентрации метана, что приводит к их срабатыванию. Решение задачи по поддержанию концентрации метана при подходе комбайна к краю лавы в допустимых пределах запланировано на дальнейшем этапе исследования.

Таблица 1

Сравнение концентрации метана на рассматриваемом участке шахтной сети при включении струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне, с разной производительностью

Скорость воздушной струи вентилятора, м/с	Расположение комбайна в лаве, м					
	0	200	300	350	375	400
	Концентрация метана, %					
0 (выключен)	0.16	0.30	0.37	0.40	0.42	0.43
30	0.15	0.26	0.31	0.34	0.36	0.44

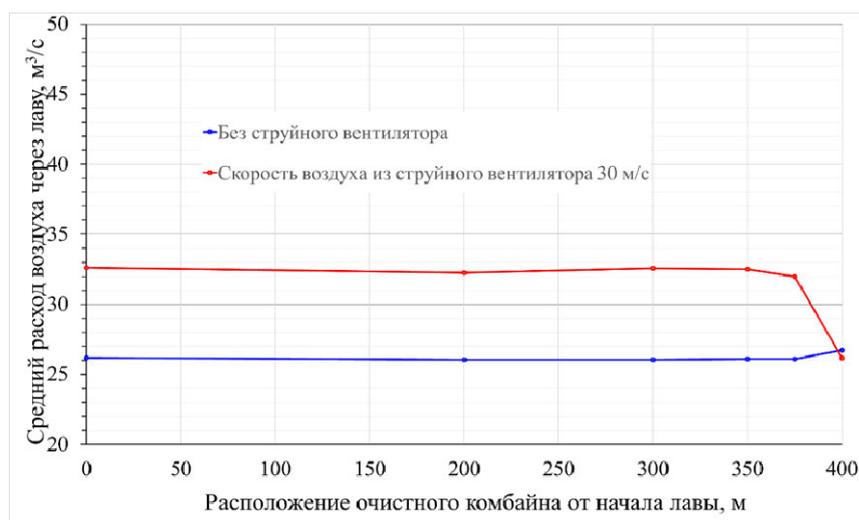


Рис. 4. Расход воздуха в лаве с мощностью пласта 2,4 м в зависимости от расположения очистного комбайна при разной производительности струйного вентилятора, установленного на нем

Заключение

Обоснован способ снижения концентрации метана в сверхдлинной четырехсотметровой угольной лаве с использованием струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне. Для обрабатываемых пластов мощностью 2,4 м определены зависимости динамического распределения концентрации метана в сверхдлинной лаве от расположения комбайна при разной скорости воздушного потока струйного вентилятора. Показано, что применение струйного вентилятора на комбайне позволяет снизить концентрацию метана на исходящей струе в 1,08–

1,17 раза. Рекомендовано отключать вентилятор вблизи сопряжения лавы с конвейерным штреком для устранения эффекта воздушной пробки.

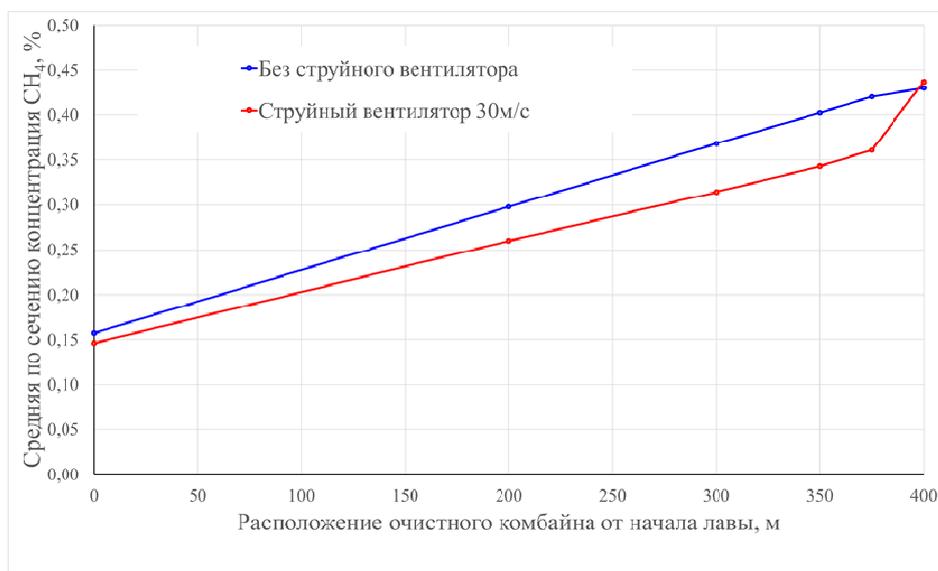


Рис. 5. Изменение концентрации метана по длине лавы с мощностью пласта 2,4 м в зависимости от положения очистного комбайна при разной производительности струйного вентилятора, установленного на нем

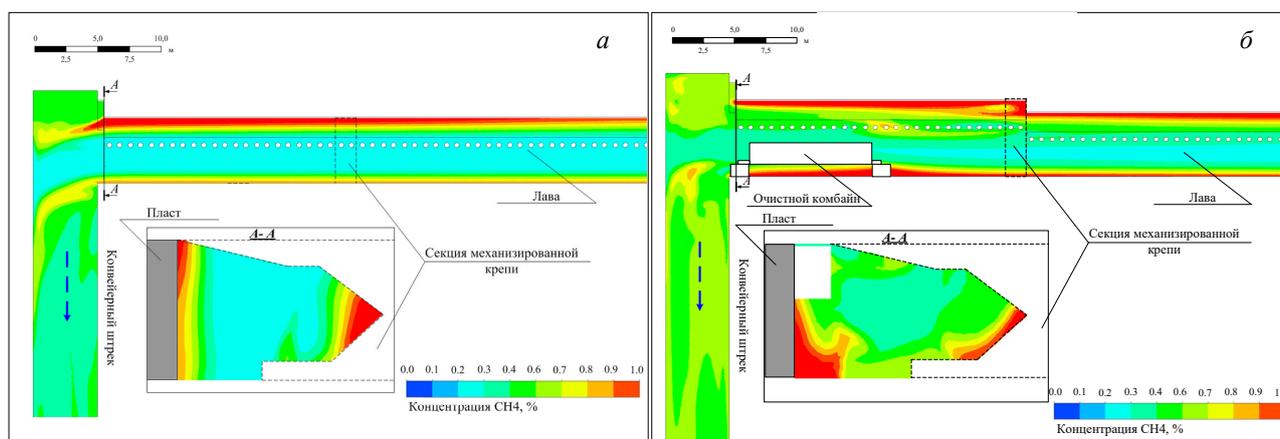


Рис. 6. Поле распределение концентрации метана в угольной лаве при: а - расположении очистного комбайна в начале лавы, возле вентиляционного штрека; б - подходе очистного комбайна к штреку конвейерному штреку

Благодарности

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Филин А. Э. Метод пульсирующей вентиляции для дезинтеграции скоплений метана в горных выработках угольных шахт / А. Э. Филин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № S5. – С. 255-261.

2. Александров С.Н., Булгаков Ю.Ф., Яйло В.В. Охрана труда в угольной промышленности: учебное пособие для студентов горных специальностей высших учебных заведений. — Донецк: РИА ДонНТУ, 2012. — 480 с.
3. Ушаков К.З., Каледина Н.О., Кирин Б.Ф. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело: учебник для вузов. — М.: МГГУ, 2002. — 487 с.
4. Айруни А.Т., Клебанов Ф.С., Смирнов О.В. Взрывоопасность угольных шахт. — М.: Изд-во. «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. — 264 с.
5. Костеренко В.Н., Тимченко А.Н. Факторы, оказывающие влияние на возникновение взрывов газа метана и угольной пыли в шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 7. — С. 368—377.
6. Уварова В.А. О причинах отравлений при крупных авариях на угольных шахтах // Технологии техносферной безопасности. — 2012. — № 6 (46). — С. 1—7.
7. Филин А.Э. Классификация горных выработок по степени опасности возникновения скоплений метана.// Тематическое приложение «Метан» к Горному информационно-аналитическому бюллетеню - 2005. - С. 223-229.
8. Филин А.Э. Механизм разрушения скоплений метана в горных выработках.// Тематическое приложение «Метан» к Горному информационно-аналитическому бюллетеню - 2005. - С. 229-238.
9. Рудничная вентиляция / Справочник под ред. К. З. Ушакова. — М.: Недра, 1988. — 440 с.
10. Пат. 2701900 РФ. Способ вентиляции угольной лавы / А. М. Красюк, И. В. Лугин, С. А. Павлов и др. // Оpubл. в БИ. — 2019. — № 28
11. Ордин А. А. Мешков А. А., Волков М. А. и др. О рекордной длине и производительности очистного забоя шахты имени В. Д. Ялевского // Уголь. — 2018. — № 7(1108). — С. 4–8.
12. Ордин А. А., Тимошенко А. М., Ботвенко Д. В., Никольский А. М. Обоснование оптимальной длины и производительности очистного забоя при отработке мощного угольного пласта шахты “Талдинская-Западная-1” // Уголь. — 2019. — № 3(1116). — С. 50–54.
13. Калинин С. И., Роут Г. Н., Игнатов Ю. М., Черданцев А. М. Обоснование суточной добычи угля из лавы длиной 400 метров в условиях шахты им. В. Д. Ялевского // Вестник КГТУ. — 2018. — № 5(129). — С. 27–35.
14. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности в угольных шахтах” от 01 января 2021 года (Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 года № 507)
15. Федорова Н. Н., Вальгер С. А., Данилов М. Н., Захарова Ю. В. Основы работы в ANSYS 17. — М.: ДМК Пресс, 2017. — 210 с.
16. ANSYS. Customer Training Material. Introduction to ANSYS Meshing.
17. ANSYS CFX-Solver Theory Guide. Published in the U.S.A/ 2014-2015 SAS IP, Inc.
18. Павлов С. А. Об изменении аэродинамического сопротивления вентиляционной сети шахты при реверсировании воздушного потока // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2019. — № 2. — Т. 6. — С. 207–211.
19. Павлов С. А. О влиянии струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне, на аэродинамическое сопротивление сверхдлинной угольной лавы // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2021. — Т. 2. — № 4. — С. 32–40.
20. Павлов С. А. Интенсификация проветривания сверхдлинных угольных лав при использовании струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2021. — Т. 8. — № 2. — С. 216–222.

© С. А. Павлов, 2023