



**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ СВЕРХДЛИННЫХ УГОЛЬНЫХ ЛАВ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТРУЙНОГО ВЕНТИЛЯТОРА,
УСТАНОВЛЕННОГО НА ОЧИСТНОМ КОМБАЙНЕ**

С. А. Павлов

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, E-mail: pavlov_s_a@inbox.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Представлены результаты исследования аэродинамических процессов, протекающих в сверхдлинных (до 400 м) угольных лавах. Рассмотрен способ повышения эффективности проветривания угольной лавы за счет установки осевого струйного вентилятора на очистном комбайне, проведена оценка преимуществ применения этого способа. С помощью вычислительных экспериментов определена зависимость аэродинамического сопротивления лавы от места расположения механизированного очистного комплекса.

Шахта, очистной забой, сверхдлинная лава, очистной комбайн, струйный вентилятор, аэродинамическое сопротивление, механизированная крепь

**INTENSIFICATION OF VENTILATION OF VERY LONG COAL LONGWALL
WHEN USING A JET FAN INSTALLED ON A SHEARER**

S. A. Pavlov

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: pavlov_s_a@inbox.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

The results of studying aerodynamic processes in a very long (up to 400 m) coal longwall are presented. A method for increasing the efficiency of coal longwall ventilation by installing an axial jet fan on a shearer is considered and the advantages of using this method are evaluated. As a result of computational experiments, the dependence of longwall aerodynamic resistance on the location of mechanized coal face system is found.

Mine, stoping face, very long longwall, shearer, jet fan, aerodynamic resistance, powered support

В настоящее время очистные выработки имеют тенденцию к увеличению своей протяженности, чтобы отвечать требованиям высокопроизводительных очистных механизированных комплексов [1–3]. Увеличение протяженности лавы, оснащенной очистным комбайном и механизированной крепью, которые значительно перекрывают собой ее поперечное сечение, неизменно ведет к увеличению аэродинамического сопротивления рассматриваемого участка, и, соответственно, повышению требований к производительности главных вентиляционных установок. Поэтому исследование способа повышения эффективности проветривания сверхдлинных (до 400 м) угольных лав без увеличения нагрузки на вентиляторы главного проветривания, является весьма актуальной задачей.

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 [4].

Такое техническое решение позволит снизить аэродинамическое сопротивление угольной лавы, не изменяя статического давления на границах выемочного участка, так как струйный вентилятор создает только динамическое давление. При помощи вычислительных экспериментов оценим эффективность проветривания с применением струйных вентиляторов, установленных на очистном комбайне, на примере одной из шахт Кузбасса, где выемочный участок имеет большую протяженность [1, 3].

Расчетная модель и методы исследования. В качестве исходных данных [1, 3] выбраны следующие механизированные очистные комплексы: для мощности обрабатываемого пласта 3.7 м — комбайн SL-900, механизированная крепь DBT 220/480 и 2400/5000, забойный скребковый конвейер SH PF 6/1142, для мощности обрабатываемого пласта 2.4 м — комбайн JOY 7LS-20, механизированная крепь GLINIK, конвейер AFC38/800/1500.

Протяженность лавы принималась 400 м, что классифицирует ее как сверхдлинную. Кроме того, в исследуемый участок входило сопряжение лавы с вентиляционным и откаточным штреками длиной по 200 м каждый (рис. 1а). Согласно проектным данным шахты, при обработке сверхдлинных лав скорость воздуха в них должна составлять от 1.5 до 2.5 м/с.

Использован осевой струйный вентилятор 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 [5], 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 $1 \text{ к} \mu = 9.81 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8$ [6] при параметрах воздуха: температуре 18 °С и атмосферном давлении 101 325 Па.

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 можно в программах вычислительной гидродинамики, в частности Ansys CFX [7–9]. Расчеты сводятся к численному решению трехмерных нестационарных нелинейных уравнений газодинамики Навье – Стокса.

Воздухораспределение в лаве с мощностью обрабатываемого пласта 3.7 м. Прежде всего следует отметить степень влияния каждого из элементов “загромождения” поперечного сечения лавы на аэродинамическое сопротивление исследуемого участка [10]. Аэродинамическое сопротивление “пустого” 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 к μ , что в 2.9 раза больше “пустых” выработок. Подобные результаты сопоставимы с аналитическим расчетом сопротивления лав, оборудованных механизированной крепью [6].

Чтобы оценить изменение аэродинамического сопротивления лавы с учетом перемещения по ней механизированного очистного комплекса, ограничимся рассмотрением шести вариантов (позиций) расположения очистного комбайна (рис. 1а). Позиция 1 соответствует начальному положению очистного комбайна, осуществившего врезку в пласт, позиция 2 — 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 — крайнему положению очистного комбайна, завершившего проход по лаве, но не преграждающего сечение вентиляционного штрека.

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). В среднем оно составило 0.036197 к μ , что на 5.3 % больше, чем у выработки, оснащенной механизированной крепью.

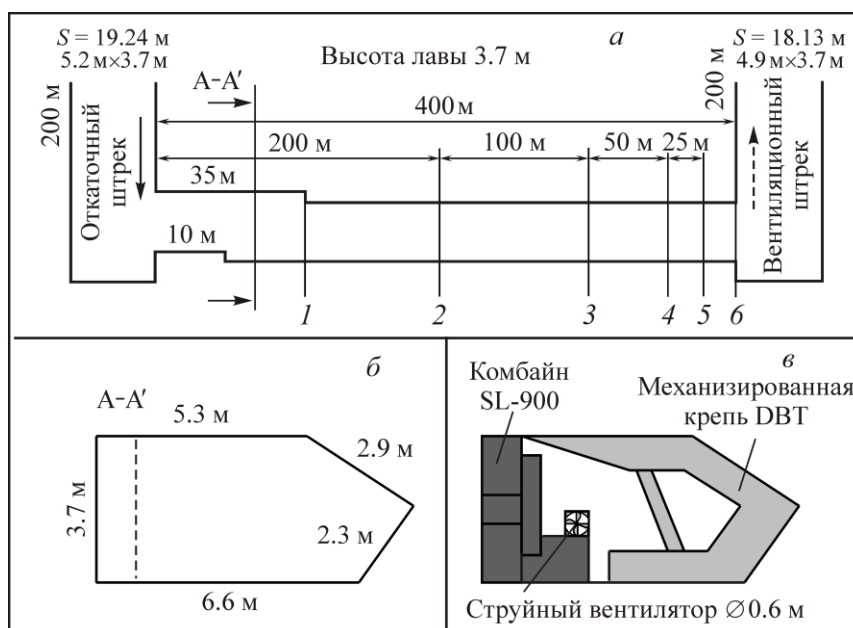


Рис. 1. Схема добычного участка с расположением позиций очистного механизированного комплекса по длине лавы (а) с указанием габаритов и размеров сечения лавы (б) и с загромождением поперечного сечения лавы очистным механизированным комплексом (в)

ТАБЛИЦА 1. Сравнение аэродинамического сопротивление рассматриваемого участка шахтной вентиляционной сети при включении струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне

Скорость воздуха через выходное сечение струйного вентилятора	Номер позиции расположения комбайна					
	1	2	3	4	5	6
	Аэродинамическое сопротивление, кц					
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

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

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. 1).

За счет принудительного перемещения воздушных масс в обход очистного комбайна, происходит значительное снижение аэродинамического сопротивления исследуемого участка (рис. 2б). Исключение составляет самый крайний вариант расположения комбайна (позиция б), когда струя из вентилятора ударяется в стену вентиляционного штрека, создавая “воздушную пробку” на выходе из лавы.

Рассмотрим величину отношения аэродинамического сопротивления исследуемого участка без применения струйного вентилятора R_0 с вариантом, учитывающими работу струйного вентилятора R_{30} (табл. 2).

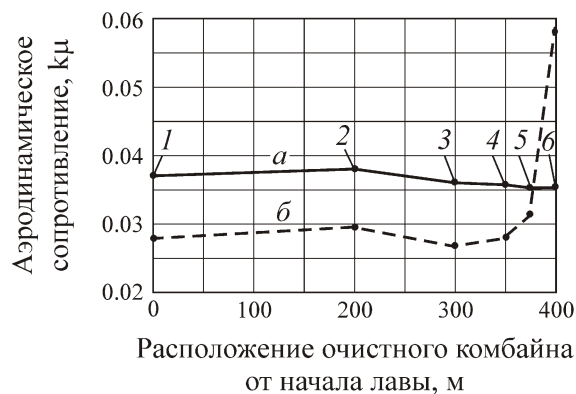


Рис. 2. Изменение аэродинамического сопротивления рассматриваемого участка шахтной сети в зависимости от расположения очистного механизированного комплекса по длине лавы: *а* — без струйного вентилятора; *б* — с учетом работы струйного вентилятора, имеющего скорость через выходное сечение 30 м/с

ТАБЛИЦА 2. Отношения аэродинамического сопротивления рассматриваемого участка шахтной сети без применения струйного вентилятора с расчетными значениями, учитывающими работу струйного вентилятора

Скорость воздуха через выходное сечение струйного вентилятора	Отношение сопротивлений	Номер позиции расположения комбайна					
		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. 2 видно, что при развиваемой струйным вентилятором скорости воздуха 30 м/с величина отношения аэродинамических сопротивлений исследуемого участка в среднем составляет 0.79 (без учета позиции *б*). Другими словами, если струйный вентилятор, установленный на очистном комбайне, развивает скорость потока воздуха 30 м/с, это приводит к снижению аэродинамического сопротивления лавы с мощностью обрабатываемого пласта 3.7 м на 21 %.

Оценим, какое влияние окажет снижение аэродинамического сопротивления на расход воздуха, поступающего в забой. Как отмечено ранее, 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

$$Q_{30} = \sqrt{\frac{Q_0^2}{0.79}} = 0.125Q_0,$$

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

При снижении на 21 % аэродинамического сопротивления лавы с мощностью обрабатываемого пласта 3.7 м количество проходящего через нее воздуха увеличится на 12.5 % без изменения производительности главной вентиляторной установки.

Воздухораспределение в лаве с мощностью обрабатываемого пласта 2.4 м. Аэродинамическое сопротивление “пустого” без крепи рассматриваемого участка составляет $R = 0.039145$ кц. При установке механизированной крепи в лаве и примыкающих к ней штреках аэродинамическое сопротивление возрастет до 0.080192 кц, что в 2.2 раза больше “пустых” выработок (рис. 3). Перемещение по лаве очистного комбайна увеличивает аэродинамическое сопротивление рассматриваемого участка в среднем до 0.087210 кц, что на 8.8 % больше, чем у выработки с механизированной крепью.

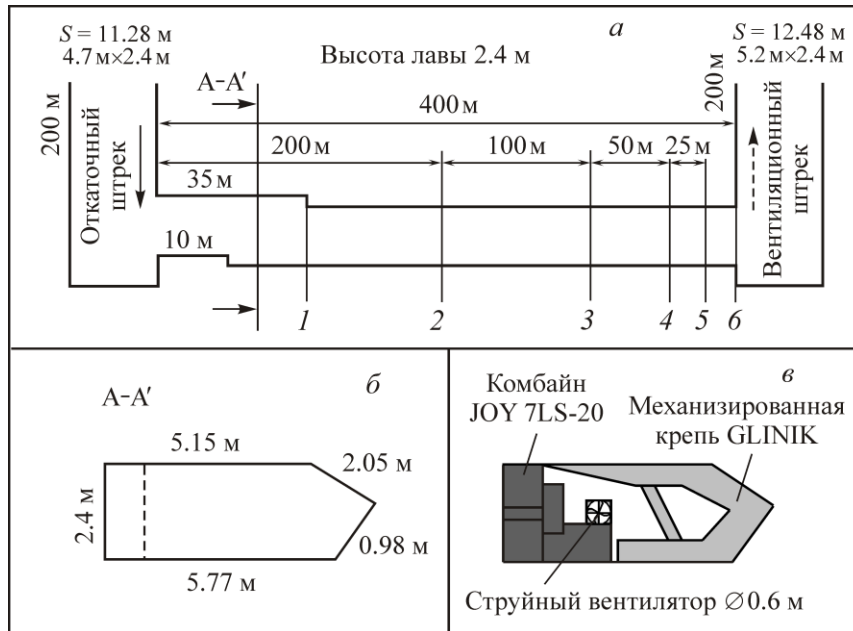


Рис. 3. Схема добычного участка с расположением позиций очистного механизированного комплекса по длине лавы (а), с указанием габаритов и размеров сечения лавы (б) и с загромождением поперечного сечения лавы очистным механизированным комплексом (в)

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. 3). Наглядно полученные результаты представлены на рис. 4. За счет принудительного перемещения воздушных масс в обход очистного комбайна происходит значительное снижение аэродинамического сопротивления исследуемого участка (рис. 4б). Исключение составляет самый крайний вариант (позиция б), когда струя из вентилятора ударяется в стену вентиляционного штрека, создавая “воздушную пробку” на выходе из лавы. Чем выше скорость на выходе из вентилятора, тем больше аэродинамическое сопротивление исследуемого участка при достижении комбайном края лавы.

ТАБЛИЦА 3. Сравнение аэродинамического сопротивления рассматриваемого участка шахтной вентиляционной сети при включении струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне

Скорость воздуха через выходное сечение струйного вентилятора	Номер позиции расположения комбайна					
	1	2	3	4	5	6
Аэродинамическое сопротивление, кц						
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

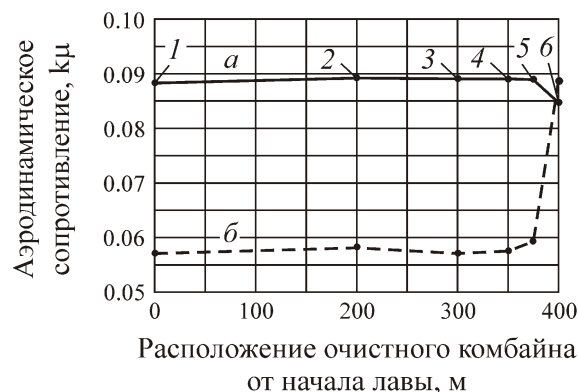


Рис. 4. Изменение аэродинамического сопротивления рассматриваемого участка шахтной сети в зависимости от расположения очистного механизированного комплекса по длине лавы: *а* — без струйного вентилятора; *б* — с учетом работы струйного вентилятора, имеющего скорость через выходное сечение 30 м/с

Рассмотрим величину отношения аэродинамического сопротивления исследуемого участка без применения струйного вентилятора R_0 с вариантом, учитывающими работу струйного вентилятора R_{30} (табл. 4). Видно, что при развиваемой струйным вентилятором скорости воздуха 30 м/с величина отношения аэродинамических сопротивлений в среднем составляет 0.65 (без учета позиции *б*). Другими словами, если установленный на очистном комбайне струйный вентилятор развивает скорость потока воздуха 30 м/с, это снижает аэродинамическое сопротивление лавы с мощностью обрабатываемого пласта 2.4 м на 35 %.

ТАБЛИЦА 4. Отношения аэродинамического сопротивления рассматриваемого участка шахтной сети без применения струйного вентилятора с расчетными значениями, учитывающими работу струйного вентилятора

Скорость воздуха через выходное сечение струйного вентилятора	Отношение сопротивлений	Номер позиции расположения комбайна					
		1	2	3	4	5	6
30 м/с	R_0/R_{30}	0.65	0.65	0.64	0.65	0.67	1.05

Оценим влияние снижения аэродинамического сопротивления на расход воздуха, поступающего в забой

$$Q_{30} = \sqrt{\frac{Q_0^2}{0.65}} = 0.24Q_0,$$

При снижении на 35 % аэродинамического сопротивления лавы с мощностью обрабатываемого пласта 2.4 м количество проходящего через нее воздуха увеличится на 24 % без изменения производительности главной вентиляторной установки.

ВЫВОДЫ

Применение струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне, позволяет увеличить расход воздуха через лаву угольной шахты на 12.5–24 % без увеличения производительности главной вентиляторной установки. Выявлено, что чем меньше поперечное сечение лавы, тем более эффективным является использование струйного вентилятора. Для предотвращения создания “воздушной пробки” при приближении очистного комбайна к вентиляционному штреку струйный вентилятор должен быть заблаговременно выключен на расстоянии 25 м от края забоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/ REFERENCES

1. **Meshkov A. A., Volkov M. A., Ordin A. A., Timoshenko A. M., and Botvenko D. V.** About the record length and productivity of the treatment face of the V. D. Yalovsky mine, *Coal*, 2018, no. 7, pp. 4–7. (in Russian) [**Мешков А. А., Волков М. А., Ордин А. А., Тимошенко А. М., Ботвенко Д. В.** О рекордной длине и производительности очистного забоя шахты им. В. Д. Ялевского // *Уголь*. — 2018. — № 7. — С. 4–7.]
2. **Ordin A. A., Timoshenko A. M., Botvenko D. V., and Nikolsky A. M.** Justification of the optimal length and performance of the treatment face during the development of a powerful coal seam of the “Taldinskaya-Zapadnaya-1” mine, *Coal*, 2019, no. 3, pp. 50–54. (in Russian) [**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. — С. 50–54.]
3. **Kalinin S. I., Routh G. N., Ignatov Yu. M., and Cherdantsev A. M.** Justification of daily coal mining from longwall 400 meters long in the conditions of the V.D. Yalovsky mine, *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2018, no. 5(129), pp. 27–35. (in Russian) [**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 КузГТУ*. — 2018. — № 5(129). — С. 27–35.]
4. **Pat. 2701900 C2 RF**, Coal longwall ventilation method, A. M. Krasnyuk, I. V. Lugin, S. A., Pavlov, et al, *Vyull. Izobret.*, 2019, no. 28. (in Russian) [**Пат. 2701900 C2 РФ.** Способ вентиляции угольной лавы / А. М. Красюк, И. В. Лугин, С. А. Павлов, и др. // *Опубл. в БИ*. — 2019. — № 28.]
5. **Federal Norms and Rules in the field of industrial Safety "Safety Rules in Coal Mines"** dated January 01, 2021 (Approved by Order no. 507 of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated December 8, 2020) (in Russian) [**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.]
6. **Mine ventilation.** A reference book, N. F. Grashchenkov, A. E. Petrosyan, M. A. Frolov and others, Edited by K. Z. Ushakov., Moscow, Nedra, 1988, 440 pp. (in Russian) [**Рудничная вентиляция: Справочник** / Н. Ф. Гращенко, А. Э. Петросян, М. А. Фролов и др.; под ред. К. З. Ушакова. — М.: Недра, 1988. — 440 с.]
7. **Basics of working in ANSYS 17**, N. N. Fedorova, S. A. Valger, M. N. Danilov, and Yu. V. Zakharova, Moscow, DMK Press, 2017, 210 pp. (in Russian) [**Основы работы в ANSYS 17** / Н. Н. Федорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов, Ю. В. Захарова. — М.: ДМК Пресс, 2017. — 210 с.]
8. ANSYS. Customer Training Material. Introduction to ANSYS Meshing.
9. ANSYS CFX-Solver Theory Guide. Published in the U.S.A/ 2014-2015 SAS IP, Inc.
10. **Pavlov S. A.** On the change in the aerodynamic resistance of the ventilation network of the mine during the reversal of the air flow, *Fundamental and Applied Mining Science*, 2019, vol. 6, no. 2, pp. 207–211. (in Russian) [**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.]