



**ОБ ИЗМЕНЕНИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ ШАХТЫ ПРИ РЕВЕРСИРОВАНИИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА**

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 изменения величины местных аэродинамических сопротивлений при реверсировании потока воздуха. На основе метода конечных объемов, рассчитаны коэффициенты аэродинамических сопротивлений типовых элементов вентиляционной сети шахт и рудников. Приведена сравнительная оценка полученных значений с аналитическими расчетами. Установлено взаимовлияние местных аэродинамических сопротивлений, близкорасположенных в вентиляционной сети в нормальном и реверсивном режимах проветривания.

Реверсивный режим, рудник, местные аэродинамические сопротивления, стационарное воздухо-распределение, рудничная вентиляция

**ABOUT CHANGES IN AERODYNAMIC RESISTANCE
OF MINE VENTILATION NETWORK WHEN REVERSING THE AIR FLOW**

S. A. Pavlov

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

The study results of changes in the value of local aerodynamic resistances during the air flow reversing are presented. Based on the finite volume method, the aerodynamic drag factors of typical elements of shaft and mine ventilation network are calculated. A comparative assessment of the obtained values with analytical calculations is given. The mutual influence of local aerodynamic resistances closely located in the ventilation network under normal and reversing ventilation conditions is determined.

Reversing mode, mine, local aerodynamic resistances, stationary air distribution, mine ventilation

Общеизвестны методы для определения коэффициентов местных аэродинамических (гидравлических) сопротивлений одной выработки или сопряжения нескольких [1 – 3]. Но в вентиляционных сетях шахт и рудников существуют такие комбинации местных сопротивлений, для расчета которых пока не найдены аналитические выражения. Существенное влияние на величину потерь давления в местных сопротивлениях оказывает возмущение потока воздуха другими элементами вентиляционной сети, если они расположены на расстоянии менее 8 калибров, которое требуется для полного выравнивания потока по сечению [3]. Имеющиеся эмпирические данные недостаточны для учета взаимного влияния местных сопротивлений при различных комбинациях их расположения. В таких случаях в расчетах принимается суммарное сопротивление последовательного ряда изолированных местных сопротивлений без учета возможного взаимовлияния [4]. Но такой подход иногда приводит к значительным ошибкам в расчетах.

Изменение величины местных сопротивлений наблюдается и при изменении направления движения воздушной струи в выработке. Согласно Единым Правилам Безопасности (п. 136) [5], главные вентиляторные установки шахт должны обеспечивать реверсирование вентиляционной струи, поступающей в выработки. При этом возможно снижение расхода воздуха при смене на-

правления движения вентиляционной струи, что обусловлено изменением аэродинамических параметров местных сопротивлений. Поскольку в большинстве случаев реверсирование потока воздуха связано с выполнением режима аварийного воздухораспределения, необходимо учитывать все изменения вентиляционной сети для обеспечения безопасности горнорабочих.

В исследованиях, касающихся реверсирования потока воздуха в выработках, в основном рассматриваются вопросы суммарного времени реверсирования, зависящего от протяженности выработок, влияния естественной тяги и тепловой депрессии [6, 7]. Во многом это связано с недостаточным количеством экспериментальных исследований воздухораспределения при реверсировании воздушного потока в вентиляционной сети. Поэтому исследование воздухораспределения в вентиляционных сетях шахт и рудников и выявление закономерностей при реверсировании потока воздуха являются актуальными.

Рассмотрим элементы вентиляционной сети — участки выработок прямоугольного поперечного сечения, имеющие поворот 60 и 120° (рис. 1). Подобные элементы можно встретить в околоствольных дворах, на транспортных уклонах, в сбойках, при оконтуривании рудного тела и т. п.

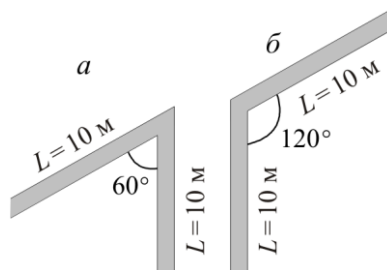


Рис. 1. Схема элементов вентиляционной сети

Для удобства сравнения местные сопротивления будут переведены из вида “безразмерный коэффициент местного сопротивления” к виду “коэффициент аэродинамического сопротивления” с размерностью $1 k_{\mu} = 9.81 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^8$ при следующих параметрах воздуха: температура 18 °С и атмосферном давлении 101 325 Па.

На основании [6] определим величину аэродинамического сопротивления рассматриваемых элементов. Для первого элемента вентиляционной сети (рис. 1а) местное сопротивление (с учетом сопротивления трения о стенки) как в нормальном, так и реверсивном режимах составит 0.009878 k_{μ} , для второго элемента (рис. 1б) — 0.003422 k_{μ} .

Рассмотрим решение этой задачи при помощи программного комплекса методом конечных объемов. Величина аэродинамического сопротивления рассматриваемых выработок составила 0.009939 k_{μ} и 0.003403 k_{μ} соответственно. Разница величин (табл. 1), полученных аналитическим путем и методом конечных объемов, не превысила 0.6 %. Это сравнение подтверждает, что метод конечных объемов позволяет адекватно определять сопротивление изолированных элементов вентиляционной сети, что позволяет доверительно относиться к полученным результатам и выведенным на их основании зависимостям.

ТАБЛИЦА 1. Результаты расчета аэродинамического сопротивления элементов вентиляционной сети

Элемент вентиляционной сети	Расчетное значение аэродинамического, сопротивления k_{μ}		Сравнение, %
	полученное аналитическим путем	полученное методом конечных объемов	
Выработка с углом поворота 60° (рис. 1а ₁)	0.009878	0.009939	0.62
Выработка с углом поворота 120° (рис. 1а ₂)	0.003422	0.003403	-0.56

Рассмотрим последовательное соединение двух элементов таким образом, чтобы расстояние между поворотами составило менее 8 калибров (рис. 2). Оценим величину взаимного влияния элементов вентиляционной сети на аэродинамическое сопротивление при разном направлении движения воздуха. В результате аналитического расчета полное аэродинамическое сопротивление выработок, имеющих два поворота, как в нормальном режиме, так и в реверсивном составит $0.019756 \text{ } k\mu$ (для варианта, представленного на рис. 2а), $0.006844 \text{ } k\mu$ (для варианта рис. 2б) и $0.013300 \text{ } k\mu$ (для варианта рис. 2в).

Расчет методом конечных объемов показал неравномерность воздухораспределения в зависимости от направления движения воздушного потока. Полное аэродинамическое сопротивление выработки (рис. 2а) при нагнетании воздуха в нормальном режиме составило $0.019305 \text{ } k\mu$, в реверсивном — $0.021597 \text{ } k\mu$. Из анализа полученных результатов видно, что величина аэродинамического сопротивления при нагнетании воздуха на 2.3 % меньше рассчитанного аналитическим способом, при движении воздушного потока в реверсивном режиме проветривания — больше на 9.3 %. Полное аэродинамическое сопротивление выработки (рис. 2б) при нагнетании воздуха в нормальном режиме — $0.006499 \text{ } k\mu$, в реверсивном — $0.006499 \text{ } k\mu$. Величина аэродинамического сопротивления при нагнетании воздуха в реверсивном режиме проветривания на 5 % меньше рассчитанного аналитическим способом.

Полное аэродинамическое сопротивление выработки (рис. 2в) при нагнетании воздуха в нормальном режиме — $0.012232 \text{ } k\mu$, в реверсивном — $0.011533 \text{ } k\mu$. Величина аэродинамического сопротивления при нагнетании воздуха на 8.3 % меньше рассчитанного аналитическим способом, при движении воздушного потока в реверсивном режиме — на 13.3 %. Изменение аэродинамического сопротивления каждого элемента в зависимости от типа их сопряжения и направления движения воздушной струи показано на графиках (рис. 2).

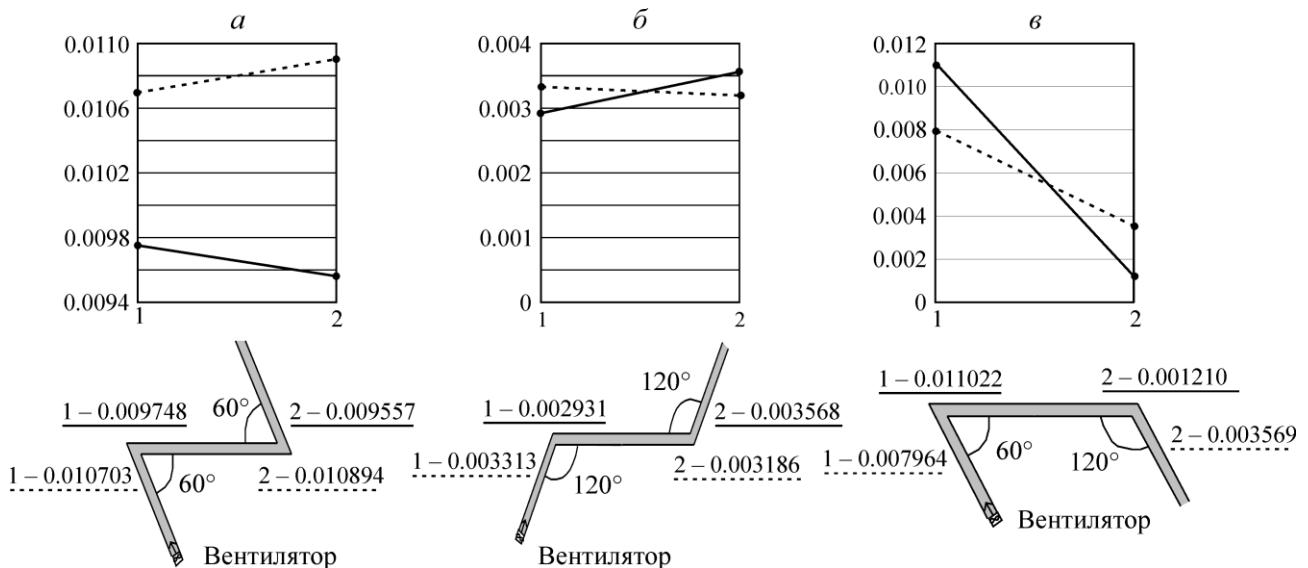


Рис. 2. Графики изменения аэродинамического сопротивления элементов вентиляционной сети в нормальном (сплошная линия) и реверсивном (пунктирная линия) режимах проветривания

Рассмотрим усложненный вариант этих же выработок, увеличив количество последовательных поворотов в два раза, каждый из которых будет располагаться на расстоянии менее 8 калибров друг от друга (рис. 3). В результате аналитического расчета полное аэродинамическое сопротивление таких выработок, имеющих четыре поворота, как в нормальном режиме, так и в реверсивном составит $0.039512 \text{ } k\mu$ (для варианта рис. 3а), $0.013688 \text{ } k\mu$ (для варианта рис. 3б) и $0.026600 \text{ } k\mu$ (для варианта рис. 3в).

Расчет методом конечных объемов показал неравномерность воздухораспределения в зависимости от направления движения воздушного потока. Полное аэродинамическое сопротивление выработки (рис. 3а) при нагнетании воздуха в нормальном режиме составило 0.041667 км , при вытяжке (в реверсивном режиме) — 0.041986 км . Величина аэродинамического сопротивления при нагнетании воздуха на 5.5 % больше рассчитанного аналитическим способом, при движении воздушного потока в реверсивном режиме проветривания — на 6.3 %.

Полное аэродинамическое сопротивление выработки (рис. 3б) при нагнетании воздуха в нормальном режиме — 0.012105 км , в реверсивном — 0.012042 км . Величина аэродинамического сопротивления при нагнетании воздуха на 11.6 % меньше рассчитанного аналитическим путем, при движении воздушного потока в реверсивном режиме — меньше на 12.0 %.

Аэродинамическое сопротивление выработки (рис. 3в) при нагнетании воздуха в нормальном режиме составило 0.025866 км , в реверсивном — 0.02765 км . Аэродинамическое сопротивление при нагнетании воздуха на 2.8 % меньше рассчитанного аналитически, при движении воздушного потока в реверсивном режиме — больше на 3.9 %. Изменение аэродинамического сопротивления каждого элемента в зависимости от типа их сопряжения и направления движения воздушной струи представлено на рис. 3 и в табл. 2.

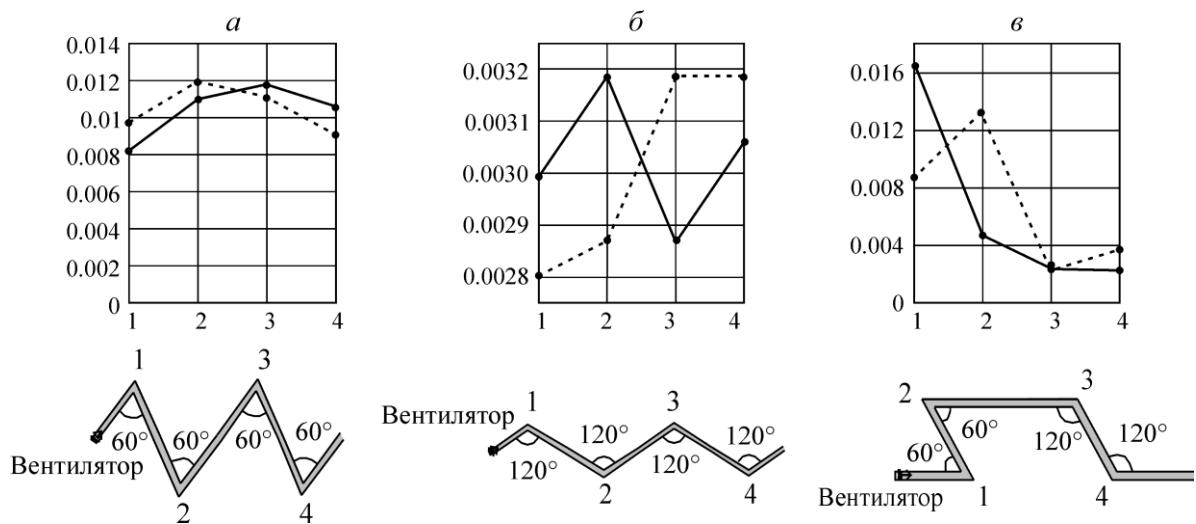


Рис. 3. Изменение аэродинамического сопротивления элементов вентиляционной сети в нормальном (сплошная линия) и реверсивном (пунктирная линия) режимах проветривания

ТАБЛИЦА 2. Расчетные значения аэродинамических сопротивлений выработок

Выработка	Расчетное значение аэродинамического сопротивления, полученное аналитическим путем, км	Расчетное значение аэродинамического сопротивления, полученное методом конечных объемов, км	
		нормальный режим	реверсивный режим
4 поворота с углом 60° (рис. 3б)	0.009878	0.008219	0.009748
	0.009878	0.011022	0.011978
	0.009878	0.011786	0.011149
	0.009878	0.010640	0.009111
4 поворота с углом 120° (рис. 3в)	0.003422	0.002994	0.002803
	0.003422	0.003186	0.002867
	0.003422	0.002867	0.003186
	0.003422	0.003058	0.003186
2 поворота с углом 60° и 2 поворота с углом 120° (рис. 3з)	0.009878	0.016628	0.008601
	0.009878	0.004587	0.013315
	0.003422	0.002357	0.002039
	0.003422	0.002294	0.003695

ВЫВОДЫ

Выявлено существенное изменение местного аэродинамического сопротивления элементов вентиляционной сети при реверсировании потока воздуха. При разработке вентиляционных сетей необходимо уделять особое внимание участкам с близкорасположенными элементами, создающими местные сопротивления течению воздушных потоков, поскольку это приводит к значительным изменениям аэродинамического сопротивления вентиляционной сети при реверсивном режиме работы. Исследования показали, что в одной ветви сети изменения сопротивления могут достигать 12 %. Такая погрешность может существенно исказит результаты расчета воздухораспределения при реверсивном режиме, который обычно считается аварийным. Важно учитывать указанные изменения аэродинамического сопротивления, так как они влияют на систему жизнеобеспечения горнорабочих в аварийных ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Mohirev N. N. and Radko V. V.** Engineering calculations of mine ventilation. Building. Reconstruction. Operation, Moscow, LLC Nedra-Business Center, 2007, 324 pp. (in Russian) [**Мохирев Н. Н., Радько В. В.** Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация. — М.: ООО “Недра-Бизнесцентр”, 2007. — 324 с.]
2. **Kharev A. A.** Local resistance of mine ventilation networks, Moscow, Ugletehizdat, 1954 (in Russian) [**Харев А. А.** Местные сопротивления шахтных вентиляционных сетей. — М.: Углетехиздат, 1954. — 248 с.]
3. **Idelchik I. E.** Handbook of hydraulic resistance, Ed. M. O. Steinberg, Moscow, Mashinostroenie, 1992, 672 pp. (in Russian) [**Идельчик И. Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М. О. Штейнберга. — М.: Машиностроение, 1992. — 672 с.]
4. **Krasuk A. M.** Underground tunnel ventilation, Novosibirsk, Nauka, 2006, 164 pp. (in Russian) [**Красюк А. М.** Тоннельная вентиляция метрополитенов. — Новосибирск: Наука, 2006. — 164 с.]
5. **РВ 03-553-03.** Uniform safety rules for the development of ore, non-metallic and placer mineral deposits by underground mining. Series 03, issue 33, Moscow, Scientific and Technical Center “Industrial Safety”, 2009, 209 pp. (in Russian) [**ПБ 03-553-03.** Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом. Сер. 03. Вып. 33. — М.: Научно-технический центр “Промышленная безопасность”, 2009. — 200 с.]
6. **Shalimov A. V.** Theoretical bases of forecasting, prevention and control of emergency violations of the ventilation of mines: dis. ... Dr. Techn. Sciences, Perm, 2012 (in Russian) [**Шалимов А. В.** Теоретические основы прогнозирования, профилактики и борьбы с аварийными нарушениями проветривания рудников: дис. ... д-ра техн. наук. — Пермь, 2012.]
7. **Postnikova M. Yu.** Influence of the developed spaces on the aerogasdynamic processes during emergency modes of mine ventilation: Synopsis of Cand. Tech. Sci.. Tula, 2011 (in Russian) [**Постникова М. Ю.** Влияние выработанных пространств на аэрогазодинамические процессы при аварийных режимах вентиляции рудников: дис.... канд. техн. наук. — Тула, 2011.]