

**В.Н. Макаров, И.Ю. Патракеева, Н.В. Макаров**

## **ГЕНЕЗИС СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВЕНТИЛЯТОРОВ МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ**

Проведен глубокий анализ этапов развития вентиляторов местного проветривания. Установлены причины низкой фактической эксплуатационной эффективности вентиляции тупиковых выработок. Предложен перспективный способ повышения аэродинамической нагруженности и адаптивности вентиляторов местного проветривания с использованием в рабочих колесах с адаптивными вихреисточниками. Разработан параметрический ряд радиально-вихревых прямооточных вентиляторов типа ВРВП, область экономической работы которых соответствует полям вентиляционных режимов тупиковых выработок длиной от 1500 до 3000 м.

Ключевые слова: вентилятор, циркуляция, вихревая камера, аэродинамическая схема, вихреисточник, круговая решетка профилей.

**З**а последние годы в шахтном вентиляторостроении сформировались существенные проблемы, обусловленные недостаточной эффективностью проветривания очистных забоев угольных шахт.

Технические параметры вентиляторами местного проветривания (ВМП) не в полной мере соответствуют современным требованиям, предъявляемым к вентиляции тупиковых выработок. Увеличение нагрузки на очистной забой, ускоренный прирост длины тупиковых выработок требуют применения вентиляторов, обладающих большей аэродинамической нагруженностью и адаптивностью.

В развитии шахтных ВМП прослеживается четыре основных периода (см. рис. 1).

Первый этап – в период до начала 1950-х годов характеризовался повсеместным распространением вентиляторов радиальных типа ЦВ и осевых типа ВМ. Эти вентиляторы отличались высоким удельным энергопотреблением и большой удельной массой [1, 6].

Второй период развития ВМП характеризуется применением вентиляторов типа: ВЦ, СВМ, отличающихся повышенным к.п.д.

Для третьего этапа совершенствования ВМП характерны вентиляторы типа ВМЦГ и ВМЭ с улучшенной экономической эффективностью [7].

В настоящее время наибольшее распространение получили модернизированные ВМП типа ВМЭ ВО и ВМЭ ВВ, отличающиеся повышенным к.п.д. и аэродинамической нагруженностью.

В настоящее время наиболее перспективно совершенствование радиальных ВМП с применением методов вихревого управления течением потока в рабочем колесе [4, 6].

Конструктивные особенности радиальных ВМП позволяют реализовывать в них вихревые методы управления течением в межлопаточных каналах рабочих колес с использованием высокоэнергетических адаптивных вихреисточников.

Оригинальность и новизна запатентованных технических решений лопаток рабочего колеса ВМП блочно-модульной конструкции с реализацией в ней энергетических способов управления обтеканием, использующих в качестве источника адаптивных аэрогазодинамических вихрей часть основного потока, приведена на рис. 2 [2, 5].

Взаимодействие вихря и основного потока обеспечивает существенное увеличение угла его поворота, то есть смещение в направлении вращения рабочего колеса, точки полного торможения потока, способствуя тем самым росту аэродинамической нагруженности и экономичности радиального вентилятора.

Каждый профиль, имеющий среднюю линию 9 круговой решетки профилей, представляющей собой радиальное сечение рабочего колеса с адаптивными вихреисточниками снабжен встроенным в него цилиндрической вихревой камерой 1

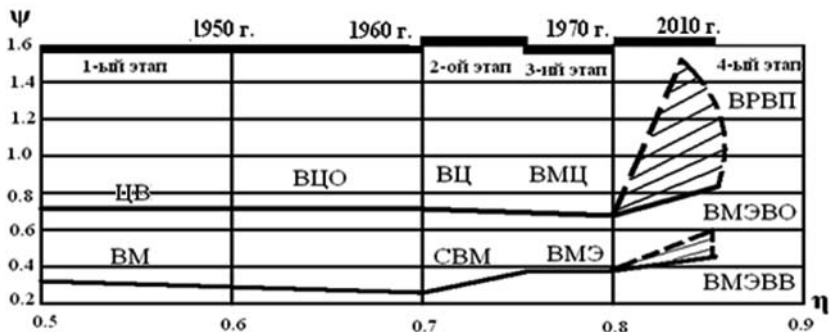


Рис. 1. Основные этапы совершенствования шахтных вентиляторов местного проветривания

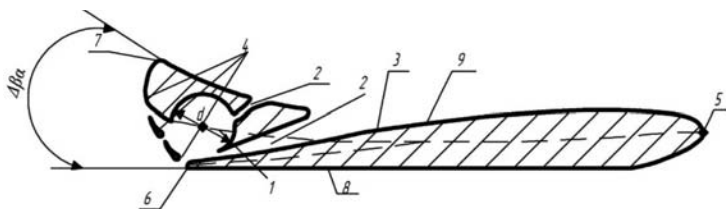


Рис. 2. Профиль круговой решетки профилей с адаптивными вихреисточниками

диаметром  $d$ , тангенциальным входным каналом 2 со стороны его рабочей поверхности 3 и тангенциальными выходными каналами 4 с выходом на рабочую 3 и тыльную 8 поверхности.

Аэродинамическая нагруженность классической круговой решетки профилей определяется положением передней 5 (ПКТ) и задней 6 (ЗКТ) критических точек. Для круговой решетки профилей с адаптивными вихреисточниками аэродинамическая нагруженность определяется положением эффективной критической точки 7 (ЭКТ), смещающейся по отношению к ЗКТ под действием вихреисточника 1.

Характерной особенностью адаптивного вихреисточника 1 является наличие обратной аэродинамической связи его энергетических характеристик с аэродинамическими параметрами вентиляционной сети, на которую работает вентилятор.

Энергия циркуляции адаптивного вихреисточника формируется в вихревой камере 1 за счет тангенциального входа потока 2, а ее взаимодействие с лопаткой, обеспечивающее смещение ЭКТ по отношению к ЗКТ 6, то есть рост циркуляции вокруг нее, осуществляется через тангенциальные выходы потока 4. При этом выходной канал 4 на рабочей поверхности 3 лопатки расположен вниз по потоку, то есть ближе к ЗКТ 6 профиля лопатки по отношению к входу 2 в вихревую камеру 1. Это обеспечивает формирование замкнутого вихря с наружи вихревой камеры и, как результат, эффективное смещение ЭКТ по отношению к ЗКТ.

Коэффициент теоретического давления, развиваемого вентилятором с круговой решеткой классических профилей может быть представлен в виде [3]:

$$\psi_m = C_{u2} = 1 - C_{r2} \cdot ctg\beta_{2л}, \quad (1)$$

где  $C_{u2}$  – коэффициент окружной скорости потока на выходе из рабочего колеса;  $C_{r2}$  – коэффициента радиальной скорости потока (коэффициента расхода);  $\beta_{2л}$  – угол выхода лопатки рабочего колеса (профиля круговой решетки профилей).

Коэффициент теоретического давления, развиваемого круговой решеткой профилей с адаптивными вихреисточниками с учетом (1) и рис. 3 будет иметь вид:

$$\Psi_m^a = C_{u2}^a = 1 - C_{r2} \cdot ctg\beta_2 = 1 - C_{r2} \cdot ctg\beta_a + \Delta\beta_a, \quad (2)$$

где  $C_{u2}^a$  – коэффициент окружной скорости потока на выходе из рабочего колеса с учетом действия адаптивного вихреисточника;  $\beta_2$  – угол выхода потока из рабочего колеса с учетом действия адаптивного вихреисточника;  $\Delta\beta_a$  – угол поворота ЭКТ по отношению к ЗКТ в следствии действия адаптивного вихреисточника

Из анализа формул (1), (2) видно, что поскольку  $\Delta\beta_a > 0$ , то  $\Psi_m^a > \Psi_m$  на всех режимах работы вентилятора.

Гидродинамический аналог  $\Delta\beta_a$ , представляющий собой конформное отображение угла поворота ЭКТ по отношению к ЗКТ на Римановой плоскости круга единичного радиуса, моделирующего профили круговой решетки с адаптивными вихреисточниками с учетом [1] может быть представлено в виде

$$\theta_a = \arcsin \frac{\rho_v}{2\pi q}, \quad (3)$$

где  $q$  – коэффициент стока, формирующего вихреисточник через входной канал 2 на Римановой поверхности;  $\rho_v$  – коэффициент циркуляции вихреисточника на римановой поверхности.

Таким образом  $\Delta\beta_a$  – угол поворота ЭКТ по отношению к ЗКТ является функцией коэффициента циркуляции адаптивного вихреисточника  $\rho_v$ , интенсивность которого возрастает с ростом сопротивления вентиляционной сети, что подтверждает схема изменения кинематических параметров, приведенная на рис. 3.

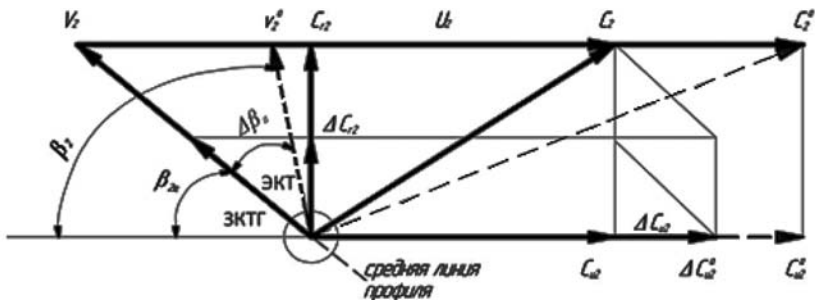


Рис. 3. Кинематические параметры потока на выходе из круговой решетки профилей: — классическая решетка; - - - круговая решетка с адаптивными вихреисточниками

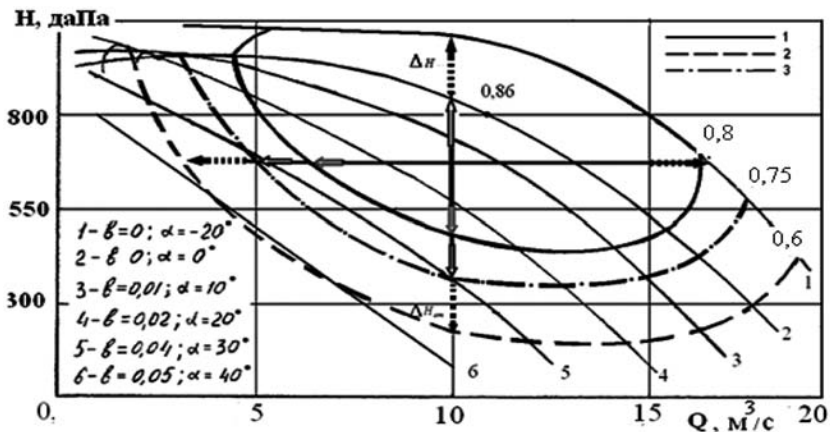


Рис. 4. Аэродинамическая характеристика вентилятора местного проветривания ВРВП-8 с энергетическим направляющим аппаратом

Следовательно, адаптивные вихреисточники способствуют не только увеличению циркуляции, то есть аэродинамической нагруженности вентилятора, но и его адаптивности, то есть изменению давления  $\Psi_m^a$  в соответствии с изменениями характеристик внешней сети для сохранения коэффициента подачи  $C_{r2}$ , в то время как для классической круговой решетки характерно увеличение давления, развиваемого вентилятором в связи с ростом сопротивления сети за счет дросселирования, то есть уменьшения расходной скорости  $C_{r2}$ .

Совместно с испытательным центром «СМК» были проведены испытания моделей радиально-вихревых прямооточных вентиляторов, выполненных по разработанному аэродинамическим схемам: ВР-120-20, ВР-150-22, а также вентилятора ВРВП-8 (см. рис. 4).

**Аэродинамические характеристики ВМП IV-го и ВРВП-8**

Показатели	Тип вентилятора					Рост показателя, %
	ВМЭ-8	ВМЭВО-8	ВМЭВВ-8	ВМЦ-8М	ВРВП-8	
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	10	11	10	8	10	—
$H, \text{ даПа}$	315	420	700	550	860	126/156
$N, \text{ кВт}$	45	90	75*2	75	110	140
$\eta$	0,69	0,72	0,85	0,8	0,86	101
$L_B, \text{ м}$	1000	1500	2000	2500	3500	140/175

В таблице приведены аэродинамические характеристики вентиляторов местного проветривания

Таким образом, приведенные результаты подтверждают эффективность применения адаптивных вихреисточников для управления течением в радиальных рабочих колесах ВМП в целях повышения их аэродинамической нагруженности, адаптивности и экономичности. Этот метод позволяет существенно снизить удельную быстроходность ВМП при сохранении их экономической эффективности, обеспечить эффективное проветривание тупиковых выработок газообильных угольных шахт большой протяженности. Наиболее целесообразно применение вентиляторов типа ВРВП при длине тупиковых выработок  $L_{\text{в}} = 1500-3000$  м.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев А. И., Потапов В. Я., Костюк П. А., Макаров В. А.* Краткий обзор пневматических устройств для транспортирования сыпучих смесей и процессов внутри них // Известия УГГУ. – 2015. – № 3(39). – С. 28–39.

2. *Горбунов С. А., Макаров В. Н., Макаров Н. В., Корнилова Т. А.* Аэродинамический расчет вентиляторов местного проветривания с вихревыми камерами // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 8. – С. 162–167.

3. *Иванов О. П., Манченко В. О.* Аэродинамика и вентиляторы. – Л.: Машиностроение, 1986. – 280 с.

4. *Косарев Н. П., Макаров В. Н.* Генезис эффективности проветривания // Известия вузов. Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 22–26.

5. *Косарев Н. П., Макаров Н. В., Макаров В. Н.* Патент 2430274 (Россия). Кл. F 04 D 29/28. Радиально-вихревая турбомашина, опубл. 27.09.2011 г.

6. *Потапов В. Я., Тимухин С. А., Потапов В. В., Конев Я. И.* Использование аэродинамического эффекта в фрикционных сепараторах для разделения минеральных комплексов, обладающих парусностью // Известия УГГУ. – 2011. – № 25–26. – С. 84–90.

7. *Тимухин С. А., Копачев В. Ф.* Осе-радиальные вентиляторы: научная монография. – Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2011. – 252 с. **ГИАС**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Макаров Владимир Николаевич*<sup>1</sup> – доктор технических наук, профессор, начальник управления инноватики и развития, e-mail: mnikolay84@mail.ru,

*Патракеева Ирина Юрьевна*<sup>1</sup> – аспирант, e-mail: Patrakeevea2208@yandex.ru,

*Макаров Николай Владимирович*<sup>1</sup> – кандидат технических наук, зав. кафедрой, e-mail: mnikolay84@mail.ru,

<sup>1</sup> Уральский государственный горный университет.

**GENESIS OF PERFECTION  
LOCAL VENTILATION FANS**

Made the deep analysis of the local ventilation fan development stages. The causes of the low actual operational efficiency the blind workings ventilation. We propose a promising way to improve the aerodynamic loading of adaptability and fans of local ventilation using impellers with adaptive vortex sources. Designed parametric range of radial vortex of direct-flow fan type FCVF, the region economical operation that correspond to the modes of ventilation of blind workings length from 1500 to 3000 m.

Key words: fan, circulation vortex chamber, aerodynamic configuration, the vortex source, the circular grille profiles.

**AUTHORS**

*Makarov V.N.*<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of Innovation and Development Department,  
e-mail: uk.intelnedra@gmail.com,

*Patrakeeva I.Yu.*<sup>1</sup>, Graduate Student,  
e-mail: Patrakeeva2208@yandex.ru,

*Makarov N.V.*<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences,  
Head of Chair, e-mail: mnikolay84@mail.ru,

<sup>1</sup> Ural State Mining University,  
620144, Ekaterinburg, Russia.

**REFERENCES**

1. Afanas'ev A. I., Potapov V. Ya., Kostyuk P. A., Makarov V. A. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2015, no 3(39), pp. 28–39.
2. Gorbunov S. A., Makarov V. N., Makarov N. V., Kornilova T. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 8, pp. 162–167.
3. Ivanov O. P., Manchenko V. O. *Aerodinamika i ventilyatory* (Aerodynamics and fans), Leningrad, Mashinostroenie, 1986, 280 p.
4. Kosarev N. P., Makarov V. N. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2012, no 1, pp. 22–26.
5. Kosarev N. P., Makarov N. V. Makarov V. N. *Patent RU 2430274. Kl. F 04 D 29/28*, 27.09.2011.
6. Potapov V. Ya., Timukhin S. A., Potapov V. V., Konev Ya. I. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2011, no 25–26, pp. 84–90.
7. Timukhin S. A., Kopachev V. F. *Ose-radial'nye ventilyatory: monografiya* (Axial-radial fans: monograph), Ekaterinburg, izd-vo UGGU, 2011, 252 p.

