

УДК 622.44

**Н.В. Макаров, С.В. Белов, В.Н. Макаров**

## **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ**

*Получены критерии подобия течения в вентиляторе с энергетическим регулятором на базе теории эквивалентности сложных систем. С использованием теории экстремального планирования эксперимента получены зависимости для оптимальных значений геометрических параметров энергетического регулятора. Проведенные экспериментальные исследования показали удовлетворительную сходимость полученных зависимостей с эмпирическими данными.*

*Ключевые слова: центробежные вентиляторы, энергетический направляющий аппарат, аэродинамика, глубина экономического регулирования.*

**В** отечественной и зарубежной литературе отсутствуют данные по исследованиям метода вихревого управления обтеканием лопаток рабочего колеса на входе в центробежный вентилятор, выбору оптимальных энергетических характеристик управляющего потока вихресточника, геометрических параметров вихревой камеры и конструктивной их реализации.

Устройство для изменения параметров потока на входе в рабочее колесо за счет энергии самого потока называется энергетическим регулятором (ЭР). Конструктивно ЭР представляет собой установленную на входе в центробежный вентилятор радиальную лопаточную малокавальную или безлопаточную вихревую камеру [3] (рис. 1).

Задача математического описания результирующего течения, сформированного взаимодействием транзитного и циркуляционного потоков в центробежном вентиляторе чрезвычайно сложна и до настоящего времени без значительно упрощающих картину течения допущений не решена. По этой причине большое значение при исследовании вентиляторов с

ЭР приобретают методы, основанные на использовании теории подобия и физического моделирования.

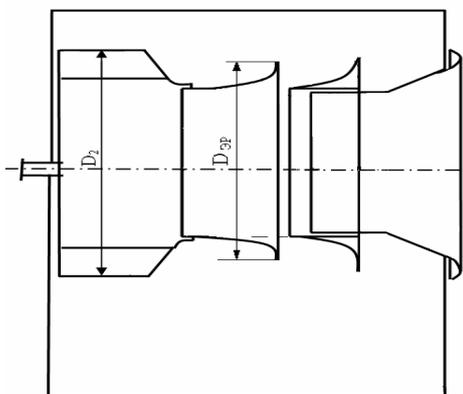
Данная статья посвящена определению критериев подобия течения в системе «вентилятор – ЭР» для создания математических моделей аэродинамических процессов, протекающих в проточной части ЭР и построения инженерных методов их расчета.

Система характеристик данного течения может быть представлена тремя группами параметров [1]:

- характеристики транзитного потока:  $\rho$  — плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\mu$  — динамическая вязкость воздуха,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;  $a$  — скорость звука,  $\text{м/с}$ ;  $\omega$  — частота вращения рабочего колеса,  $\text{с}^{-1}$ ;  $Q$  — подача вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $P$  — давление вентилятора,  $\text{Па}$ ;  $N$  — гидравлическая мощность вентиляторов,  $\text{Вт}$ .

- геометрические параметры вентилятора. Полагая, что условия геометрического подобия выполнены, в качестве базы приведения, принимаем диаметр  $D_2$  — диаметр рабочего колеса вентилятора,  $\text{м}$ ;

- характеристики управляющего потока, определяющие его взаимодействие с транзитным потоком:



**Рис. 1. Принципиальная схема центробежного вентилятора с ЭР**

$Q_y$  – подача управляющего потока через ЭР вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $R_y$  – циркуляция управляющего потока в ЭР вентилятора,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

Циркуляция управляющего потока и его расход определяет кинетический момент управляющего потока на входе в вентилятор  $K_y$ ,  $\text{м}^5/\text{с}^2$ .

Учитывая правило Фурье, согласно которому члены уравнений, описывающих физические явления, имеют одинаковую размерность, можно считать, что уравнения, моделирующие систему воздушный поток – вентилятор с энергетическим направляющим аппаратом, гомогенны. Применение  $\pi$  – теоремы в данном случае, ввиду отсутствия исчерпывающей информации о результирующем течении, базируется на следствии первого дополнительного положения В.А. Веникова о подобии сложных систем [2].

Ранг матрицы размерностей, определяющих характеристики параметров  $\|M\|$  соответствует 3, число определяющих характеристик параметров равно 9, следовательно количество критериев подобия рассматриваемого процесса, согласно  $\pi$  – теореме соответствует  $K\pi = 6$ .

$$\|M\| = \begin{vmatrix} 3 & -1 & 3 & -1 & -1 & -1 & -3 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 & -2 & -1 & -1 & 0 & -1 & 0 \end{vmatrix} \quad (1)$$

Поскольку в аэродинамике вентиляторов параметры  $\rho$ ,  $\omega$ ,  $D_2$  определяют масштаб при расчете безразмерных характеристик течения [1] и определитель, полученный из их матрицы размерностей не равен нулю, критерии подобия течения в вентиляторе с ЭНА можно представить в следующем виде:

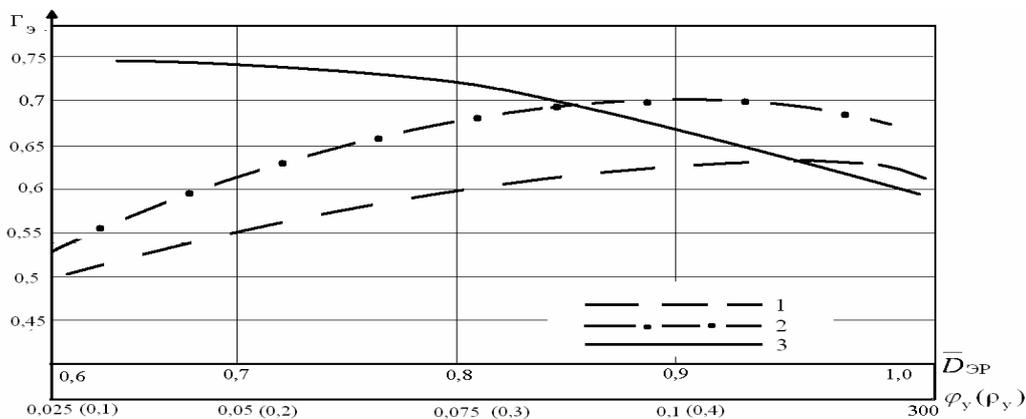
$$\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{Q_y}{\rho^{m_{11}}} \omega^{m_{21}} D_2^{m_{31}}; \\ \pi_2 &= \frac{R_y}{\rho^{m_{12}}} \omega^{m_{22}} D_2^{m_{32}}; \\ \pi_3 &= \frac{Q}{\rho^{m_{13}}} \omega^{m_{23}} D_2^{m_{33}}; \\ \pi_4 &= \frac{P}{\rho^{m_{14}}} \omega^{m_{24}} D_2^{m_{34}}; \\ \pi_5 &= \frac{\mu}{\rho^{m_{15}}} \omega^{m_{25}} D_2^{m_{35}}; \\ \pi_6 &= \frac{a}{\rho^{m_{16}}} \omega^{m_{26}} D_2^{m_{36}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Показатели степеней независимых параметров находим из соотношения

$m_{ij} = \frac{\Delta_{ij}}{\Delta}$ , где  $\Delta$  – определитель, составленный из размерностей независимых параметров;  $\Delta_{ij}$  – определитель, получаемый из  $\Delta$  посредством замены  $i$ -ой строки на строку из размерностей  $j$ -ого параметра.

После преобразования, получим для критериев подобия следующие выражения:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{Q_y}{\omega} D_2^3 = \frac{\pi \phi_y}{4}; \\ \pi_2 &= \frac{R_y}{\rho} \omega^2 D_2^2 = \frac{\rho_y}{2}; \\ \pi_3 &= \frac{Q}{\omega} D_2^3 = \frac{\pi \phi}{4}; \end{aligned}$$



**Рис. 2. Зависимость глубины экономического регулирования вентилятора с ЭР от его геометрических и энергетических параметров**

$$\begin{aligned}
 \pi_4 &= \frac{P}{\rho} \omega^2 D_2^2 = \frac{\Psi}{2}; \\
 \pi_5 &= \frac{\mu}{\rho} \omega D_2^2 = Re^{-1}; \\
 \pi_6 &= \frac{a}{\omega} D_2^2 = M^{-1},
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

где  $\varphi$ ,  $\psi$  – коэффициенты подачи и давления вентилятора.

Согласно теории подобия [1] параметры, характеризующие течение в вентиляторе с ЭР являются функциями принятых критериев:

$$\begin{aligned}
 &\psi(\varphi, Re, M, \varphi_y, \rho_y); \lambda(\varphi, Re, M, \varphi_y, \rho_y); \\
 &\eta(\varphi, Re, M, \varphi_y, \rho_y), k_y(\varphi, Re, M, \varphi_y, \rho_y).
 \end{aligned}
 \quad (4)$$

Коэффициент кинетического момента управляющего потока ЭР  $k_y$  можно выразить через коэффициенты подачи и циркуляции:

$$K_y = \frac{\pi}{4} \bar{D}_{ЭР}^2 \varphi_y \rho_y; \quad (5)$$

где  $\bar{D}_{ЭР}$  – относительный диаметр ЭР.

После преобразования, с учетом закона сохранения кинетического момента пренебрегая потерями на трение при взаимодействии транзитного и управляющего потоков в случае автономности течения в венти-

ляторе по критериям  $Re$  и  $M$  получаем [1]:

$$\Psi(\varphi, \bar{D}_{ЭР}, \rho_y, \varphi_y), \quad (6)$$

$$\eta(\varphi, \bar{D}_{ЭР}, \rho_y, \varphi_y), \quad (7)$$

$$\lambda(\varphi, \bar{D}_{ЭР}, \rho_y, \varphi_y, \Psi), \quad (8)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлической мощности вентилятора

Исследование этих зависимостей позволяет в первом приближении определять оптимальные значения параметров аэродинамической схемы ЭР для разработки методики его проектирования.

Проведенные экспериментальные исследования с использованием статистического метода линейного планирования эксперимента позволило установить, что основными параметрами ЭР, существенно влияющими на его эффективность, то есть глубину экономического регулирования вентилятора, являются относительный диаметр ЭР  $\bar{D}_{ЭР}$  и коэффициенты подачи  $\varphi_y$  и циркуляции  $\rho_y$  управляющего потока.

С использованием полученных результатов разработан энергетический регулятор ЭР92-64, установленный

на вентилятор местного проветривания ВРВП-6 и позволивший увеличить глубину экономичного регулирования

вентилятора до  $\Gamma_3 = 0,67$ , то есть на 65 % по сравнению с упрощенным направляющим аппаратом.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович Н.Г.* Прикладная газовая динамика. — М: Наука, 1976. — 888 с.

2. *Веников В.А.* Теория подобия и моделирования применительно к задачам электроэнергетики. — М.: Высшая школа, 1966. — 487 с.

3. Патент 2390656 RU, МКИ F 04 D 17/08. Центробежный вентилятор / Макаров Н.В., Белов С.В., Фомин В.И. и др. РФ /. — №112790/06 — заявлено 02.04.2008 г. Опубликовано в БИ, 2010 №15. **ФИАС**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Макаров Н.В.* — кандидат технических наук, mnikolay84@mail.ru

*Белов С.В.* — профессор, кандидат технических наук, umu@ursmu.ru

*Макаров В.Н.* — профессор, доктор технических наук, Уральский государственный горный университет, кафедра «Горная механика», developrorector@mail.ru.



---

### ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

#### ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Исмаилов Бунёд Тахирович*, аспирант,

*Те Александр Анатольевич*, аспирант,

Московский государственный горный университет, e-mail: ud@msmu.ru.

Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). — 2011. — № 12. — 24 с. — М.: издательство «Горная книга».

*Современное горнодобывающее производство сопровождается значительным негативным воздействием на окружающую среду. Для минимизации этого воздействия используются различные подходы. Набор технических решений на различных этапах производства уже сформирован, но зачастую их применение является не выгодным для предприятий. Для стимулирования природоохранной деятельности применяются различные экономические инструменты. Представлены статьи по вопросам эколого-экономического регулирования природоохранной деятельности на горных предприятиях и в горнопромышленных регионах.*

*Ключевые слова:* горно-добывающие предприятия; регулирование недропользования и природоохранной деятельности; налог на добычу полезных ископаемых; плата за негативное воздействие на окружающую среду; наилучшие существующие технологии.

#### ENVIRONMENTAL-ECONOMIC REGULATION OF NATURE PROTECTION ACTIVITY AT THE MINING ENTERPRISES

*Tho A.A., Ismailov B.T.*

*Modern mining production is accompanied by considerable negative impact on environment. For minimization of this influence various approaches are used. The set of technical solutions at various production phases is already created, but often their application is not favorable to the enterprises. Various economic tools are applied to stimulation of nature protection activity. Articles concerning environmental-economic regulation of nature protection activity at the mining enterprises and in mining regions are presented.*

*Key words:* the mining enterprises; regulation of subsurface resources management and nature protection activity; the tax to mining operations; a payment for adverse environmental impact; the best existing technologies.