

**Н.В. Макаров, С.А. Тимухин, В.Ф. Копачев**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
МЕРИДИОНАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА**

*Построена математическая модель энергетического направляющего аппарата (ЭНА), предложен метод оптимизации геометрических и аэродинамических параметров энергетического направляющего аппарата, установлена зависимость для определения их оптимальных значений.*

*Ключевые слова:* математическая модель, энергетический направляющий аппарат, геометрические и аэродинамические параметры.

**Семинар № 20**

---

**N.V. Makarov, S.A. Timuhin,  
V.F. Kopachev**  
**THE STUDY ON EFFICIENCY OF  
MERIDIONAL ENERGETIC GUIDING  
DEVICE**

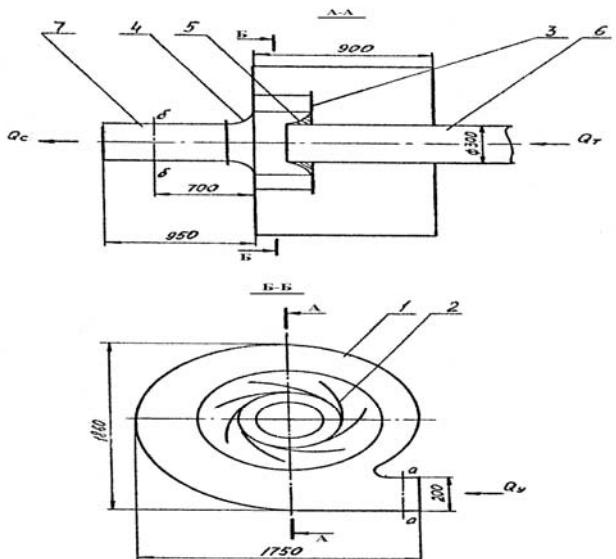
*The mathematical model of energetic guiding device (EGD) is designed. The method of geometric and aerodynamic parameters of energetic guiding device is proposed; the dependence for defining optimal values is determined.*

*Key words:* mathematical model, energetic guiding device, geometric and aerodynamic parameters.

**И**спользуемые в настоящее время регулирующие устройства могут быть условно отнесены к механическим средствам регулирования, поскольку действие их основано на механической трансформации геометрии проточной части вентилятора и, как следствие, кинематических параметров потока. Большие потенциальные возможности повышения адаптивных свойств шахтных вентиляторов заложены в энергетическом методе регулирования режимов их работы. Наиболее приемлемым средством реализации данного метода, с точки зрения простоты конструктивного исполнения, при высокой эффективности энергопотребления, является энергетический

направляющий аппарат (ЭНА). Действие ЭНА основано на изменении кинетического момента основного потока на входе в рабочее колесо за счет энергии управляющего потока полости высокого давления корпуса вентилятора. Компоновочная схема центробежного вентилятора позволяет удачно вписать в него ЭНА, обеспечив эффективное регулирование энергии и подачи управляющего потока, а также исключив отрицательное влияние направляющих аппаратов на максимальный к.п.д. вентилятора при работе на номинальном режиме.

Конструктивно ЭНА представляет собой лопаточный, малоканальный или безлопаточный направляющий аппарат установленный концентрично на входном патрубке вентилятора и соединяющий полость высокого давления корпуса с входом в рабочее колесо. Регулирование энергии управляющего потока производится за счет изменения его расхода. Поскольку управляющий поток составляет не более 20% от подачи вентилятора, то отрицательное влияние дросселирования при прохождении его через ЭНА оказывается незначительно на эффективности регулирующего уст-



**Рис. 1. Стенд для аэродинамических испытаний энергетического направляющего аппарата**

подобия, физического моделирования и планирования эксперимента.

Испытания ЭНА были проведены на специально спроектированном для решения данной задачи стенде с вихревой камерой (рис. 1).

В качестве плана эксперимента, с учетом статистического метода линейного планирования была использована дробная реплика  $2^4$ <sup>1</sup> с генерирующим соотношением, обеспечивающим максимальную ее разрешающую способность [2].

Стенд состоит из спиральной камеры 1, в которой имитируется поток корпуса высокого давления центробежного вентилятора, испытуемого ЭНА 2 со сменными лопатками, дисками 3, коллекторами 4, 5, подающим воздуховодом 6 и выходной трубой 7, в сечении б-б которой установлены измерительные приемники давления.

Факторами, определяющими функцию отклика  $\varepsilon$ , были приняты  $P_y$ ,  $b$ ,  $h$ ,  $D_h$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\varepsilon = \frac{\Gamma_c}{\lambda_y}$

где - эффективность ЭНА;  $b$  - ширина ЭНА;  $h$  - высота окна межлопаточного канала;  $D_h$  - диаметр установки неподвижных лопаток;  $\beta$  - угол схода коллектора;  $\alpha$  - угол установки лопаток.

Предварительными испытаниями установлена автомодельность  $\alpha$  от остальных геометрических параметров. Экспериментально подтверждена автомодельность течения в ЭНА от числа Рейнольдса.

ройства. Изменение проходного сечения проточной части ЭНА при проведении исследований производилось за счет изменения его ширины  $b$ , длины (высоты) расходного окна межлопаточного канала на выходе  $s_2$  ( $h$ ) и угла установки поворотных лопаток  $\alpha$ . В зависимости от применяемого способа регулирования расхода управляемого потока достигается различный уровень потерь энергии в ЭНА, изменения структуры потока на выходе из него.

До настоящего времени в литературе отсутствуют данные по системным исследованиям эффективности ЭНА, что не позволяет разработать его аэродинамическую схему с учетом параметров вентилятора. Аналитическое описание механизма взаимодействия управляемого и основного потоков ЭНА чрезвычайно сложно и без существенных допущений не представляется возможным. Поэтому в данной работе построена математическая модель аппарата на базе экспериментальных данных с использованием теории

Коэффициент циркуляции смешенного потока

$$\overline{\Gamma}_c = \frac{\sum_{i=1}^{10} \overline{r_i} v_{cri} v_{coi}}{\sum_{i=1}^{10} v_{coi}}, \quad (2)$$

где  $\overline{r_i}$  - радиус установки приемника давления в  $i$ -ом измерительном кольцевом сечении камеры смешения потоков;  $v_{cri}$  - коэффициент окружной скорости смешенного потока в  $i$ -ом измерительном кольцевом сечении;  $v_{coi}$  - коэффициент осевой скорости смешенного потока в  $i$ -ом измерительном кольцевом сечении;  $\lambda_y = q_y h_y$  - коэффициент мощности управляющего потока.

Опыты проводились при  $Re \geq 5 \cdot 10^5$ . Из выражения для коэффициента мощности управляющего потока  $\lambda_y = q_y h_y$  видно, что исследование эффективности ЭНА можно привести к определению зависимостей ( $b$ ,  $h$ ,  $D_h$ ) =  $F_1(P_y)$ ,  $\beta = F_2(P_y)$ ,  $\alpha = F_3(P_y)$ .

Обработка экспериментального материала производилась с использованием критериев Кохрена - для проверки однородности дисперсий параллельных опытов, Стьюдента - для проверки значимости коэффициентов регрессии, Фишера - для проверки адекватности полученной модели при 2.5 % уровне значимости.

По полученным оптимальным значениям факторов, определяющих эффективность ЭНА для дискретного ряда значений коэффициента давления управляющего потока была произведена интерполяция искомых функций с использованием метода наименьших квадратов:

$$\begin{aligned} \overline{b}_{opt} &= 1,56 \overline{P_f}^{-1} - 0,74; \\ \overline{h}_{opt} &= 0,031 \overline{P_f}^1 + 0,77 \overline{P_f}^2; \\ \overline{D}_{n,opt} &= 1,15 \overline{P_f}^{-1,75}, \end{aligned} \quad (3)$$

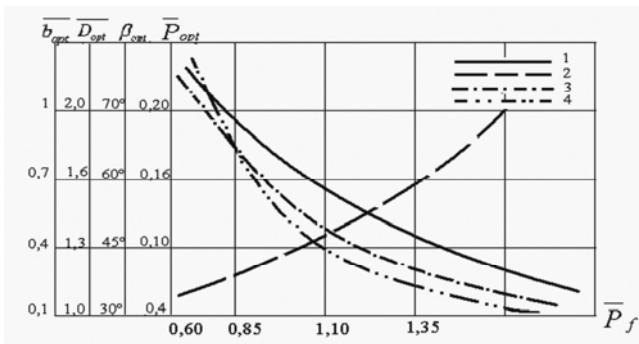
где  $\overline{P_f} = \frac{P_f}{P_{f,opt}}$  - относительный коэффициент давления управляющего по-

тока на поверхности его смешения с транзитным потоком.

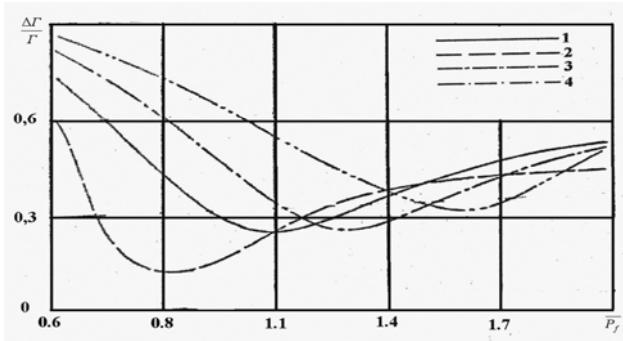
Использование  $\overline{P_f}$  в качестве критерия подобия, то есть рассмотрение только внешней аэродинамики ЭНА позволило получить универсальные зависимости для оптимальных геометрических параметров исследованных ЭНА: лопаточного, малоканального, безлопаточного. Вопросы внутренней аэродинамики аппаратов такого типа, определение их энергетических характеристик достаточно глубоко освещены в литературе [1].

На рис. 2 приведены графики зависимостей (3), из анализа которых можно сделать следующие выводы:

С ростом давления управляющего потока увеличивается оптимальная высота межлопаточного канала  $\overline{h}_{opt}$  и уменьшается ширина ЭНА  $\overline{b}_{opt}$ , при этом площадь расходного окна, то есть  $\overline{b}_{opt} \cdot \overline{h}_{opt}$  уменьшается. Это обусловлено особенностями взаимодействия струи управляющего и транзитного потоков. Увеличение скорости управляющего потока, связанное с ростом  $\overline{P_f}$  приводит к необходимости уменьшения поверхности трения потоков, то есть уменьшения  $\overline{b}$ , а рост градиента скорости по толщине струи управляющего потока способствует увеличению  $\overline{h}$  при этом происходит снижение потерь энергии в зоне смешения на единицу мощности управляющего потока. Уменьшение площади расходного окна обусловлено тем, что оптимальная мощность управляющего потока изменяется незначительно с изменением  $P_f$  и лежит в диапазоне 0.55 | 0.6 мощности смешенного потока. Уменьшение диаметра поверхности смешения управляющего и транзитного потоков с ростом  $P_t$  обуславливает уменьшение потерь энергии на трение. Уменьшение угла



**Рис. 2. Зависимость оптимальных геометрических параметров ЭНА от давления, развиваемого вентилятором:** 1 – по ширине ЭНА; 2 – по высоте окна канала; 3 – по диаметру; 4 – по углу схода коллектиора



**Рис. 3. Неравномерность циркуляции на выходе ЭНА:** 1 – лопаточный ЭНА; 2 – безлопаточный ЭНА; 3 – одноканальный ЭНА; 4 – четырехканальный ЭНА

схода коллектора с ростом  $P_f$  способствует уменьшению потерь энергии на «удар» в расчете на создаваемую удельную циркуляцию смешенного потока. Таким образом, полученные уравнения (3) могут быть использованы для расчета параметров аэродинамической схемы ЭНА, обеспечивающего наибольшую эффективность использования энергии управляющего потока.

Следует особо подчеркнуть, что вследствие различия энергетических характеристик лопаточного, безлопаточного и малоканального ЭНА на-

большее значение эффективности достигается для разных их исполнений в зависимости от расчета по  $P_y$  и  $P_f$ . Если в качестве критерия подобия принять коэффициент давления управляющего потока на поверхности смешения  $P_f$ , то есть оценивать только внешнюю аэrodинамику взаимодействия управляющего и транзитного потоков, то максимальную эффективность, к.п.д. и аэродинамическое качество имеет лопаточный ЭНА:  
 $\epsilon_f = 0.93$ ;  $\eta_f = 0.94$ ;  $K_f = 3.7$ .

В случае учета потерь энергии, в том числе и непосредственно в ЭНА, то есть при проведении исследований совместно внешней и внутренней аэродинамики лучшие показатели имеет безлопаточный ЭНА:  
 $\epsilon_y = 0.83$ ;  $\eta_y = 0.85$ ;  $K_y = 3.1$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Идельчик И.Е. Аэродинамика технологических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1983. – 351 с.
2. Тимме В.А. Оптимизация технико-экономических параметров гидротурбин. – Л.: Машиностроение, 1976. – 271 с. ГИАБ

#### Коротко об авторах –

Макаров Н.В. – аспирант,  
 Тимухин С.А. – профессор, доктор технических наук,  
 Колачев В.Ф. – доцент, кандидат технических наук,  
 ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», office@ursmu.ru

