

В.Ф. Копачев**ВЛИЯНИЕ АДАПТИВНЫХ СВОЙСТВ ВЕНТИЛЯТОРОВ
НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ПОВЕРХНОСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ГЛАВНЫХ
ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК**

Рассмотрены методы повышения адаптивности шахтных вентиляторов. Приведены конструктивные решения энергетического направляющего аппарата, осе-радиального вентилятора, а также радиально-диаметральной установки главного проветривания. Даны аэродинамические характеристики рассматриваемых установок, полученные в результате экспериментальных исследований. Приведены основные характеристики данных видов установок.

Ключевые слова: вентилятор, вентиляторная установка, повышение адаптивности, компоновочные схемы, аэродинамические характеристики.

Вентиляция, как основной элемент обеспечения безопасных санитарно-гигиенических условий в шахтах, будучи вспомогательным технологическим процессом, потребляет значительную часть электроэнергии от общей энергоемкости горного предприятия. Многолетним опытом эксплуатации главных вентиляторных установок установлено, что параметры вентиляционных сетей за время эксплуатации шахты изменяются в 3–4 раза по давлению и 2,5–3 раза по производительности. Причем одним из этапов эксплуатации рудников предусмотрена дорогостоящая реконструкция главных вентиляторных установок, обусловленная не только физическим износом оборудования но и развитием фронта горных работ и изменением производительности горного предприятия.

Непрерывный рост цен на энергоносители в условиях формирования рыночной экономики поднимают проблему обеспечения технической адаптации ГВУ с целью минимизации эксплуатационных расходов и увеличения экономической конкурентоспособности шахт на внутреннем и зарубежном рынках на уровень наиболее

актуальной задачи для горнодобывающей промышленности России. Для решения этой проблемы в условиях меняющихся параметров вентиляционных сетей требуется новый подход к повышению адаптивных свойств поверхностных комплексов главных вентиляторных установок, включающий в себя передовые достижения горной науки и внедрение современной техники. Строгие требования правил безопасности к опасным производственным объектам, к которым относятся поверхностные комплексы главных вентиляторных установок, обуславливают необходимость особых режимов их работы, вопросы исследования которых в полной мере не проработаны современной наукой и требуют рассмотрения с позиций адаптивности поверхностных комплексов главных вентиляторных установок и вентиляторов главного проветривания, в частности.

Задачи научно-технического обоснования рациональных вентиляционных режимов и создания высокоэффективных шахтных вентиляторов постоянно были в центре внимания ученых и специалистов в области горной механики, научно-исследовательских,

проектных институтов и заводов горного машиностроения. Анализ литературных источников показал, что разработанные схемы шахтных вентиляторов обладают высокими значениями технических показателей, так отечественные серийные вентиляторы главного проветривания типа ВЦ, ВЦД, ВЦГ, ВОД, ВО и Аэровент-ВО имеют статический КПД, достигающий 0,87, глубину экономичного регулирования по давлению свыше 0,5.

Высокое качество аэродинамических схем вентиляторов и достаточно хорошее их конструктивное воплощение должны обеспечивать высокие значения эксплуатационной эффективности отечественных ГВУ. Однако сравнительный анализ компоновочных решений поверхностных комплексов главных вентиляторных установок [1] показывает, что только 25% подводимой энергии расходуется на совершение полезной работы (рис. 1). Средоточение наибольшей величины потерь энергии в самом вентиляторе свидетельствует о том, что высокоэкономичные вентиляторы находятся в работе на неоптимальных режимах (режимах с низким КПД). Основные причины данного явления заложены в особенностях работы установок: переменный характер вентиляционных сетей и режимов вентиляции и обеспечение ГВУ, представляющее собой

ограниченный параметрический ряд перекрытия поля шахтных вентиляционных режимов. С другой стороны, несовершенство компоновочных схем приводит к дополнительным потерям в поверхностном комплексе, что связано с отдельным рассмотрением вентилятора главного проветривания и сети, на которую он работает. Обеспечение экономически выгодной эксплуатации ГВУ требует технической адаптации ее составляющих элементов в комплексе системного подхода к главной вентиляторной установке и шахтной вентиляционной системе.

Адаптивные свойства вентиляторов горных предприятий входят в характеризующие параметры методов оценки качества шахтных вентиляторов. В условиях поставленной задачи рассмотрим следующие системные критерии и параметры, характеризующие адаптивность поверхностных комплексов главных вентиляторных установок.

Техническая адаптивность, определяемая средствами долговременного и оперативного регулирования, к которым относятся технические регуляторы. Номенклатура технических регуляторов многообразна и представлена в основном осевыми направляющими аппаратами, частотными преобразователями, входными направляющими аппаратами, подвижными или съёмными элементами (накрылки, закрывки и пр.).

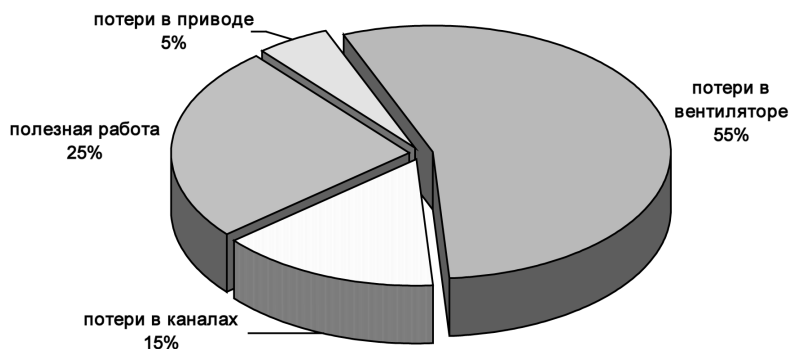


Рис. 1. Энергетическая диаграмма поверхностного комплекса ГВУ

Аэродинамическая адаптивность, показывающая возможность с минимальными энергетическими затратами менять аэродинамические параметры машины. Этот параметр определяется глубиной экономичного регулирования

по давлению $E_\psi = 1 - \frac{\psi_{\min}}{\psi_{\max}}$, и произ-

водительности $E_\varphi = 1 - \frac{q_{\min}}{q_{\max}}$,

где $\psi_{\min}$, $\psi_{\max}$ – минимальный и максимальный коэффициенты давления при заданной производительности, $q_{\min}$, $q_{\max}$ – минимальная и максимальная производительность при заданном давлении.

Взаимосвязанным параметром, дающим косвенную оценку адаптивным свойствам воздуходушных машин, является коэффициент аэродинамической нагруженности, показывающий интегральную гидравлическую напорность машины или установки во всем диапазоне подач

$$K_\psi = \frac{\int_{q_{\min}}^{q_{\max}} \Delta\psi dq}{\int_{q_{\min}}^{q_{\max}} dq} \quad (1)$$

Параметром, определяющим эффективность эксплуатации поверхностного комплекса ГВУ в целом является значение среднего взвешенного КПД в нормальной области работы [2]

$$\eta_{св} = \frac{\int_{q_{\min}}^{q_{\max}} q\psi dq}{\int_{q_{\min}}^{q_{\max}} \frac{q\psi}{\eta_{пк}} dq}, \quad (2)$$

где $\eta_{пк}$ – КПД поверхностного комплекса ГВУ, определяемый произведением КПД вентилятора η_v , каналов η_k и привода $\eta_{пр}$, соответственно: $\eta_{пк} = \eta_v \eta_k \eta_{пр}$.

Анализ фактического состояния шахтного вентиляторостроения пока-

зывает, что традиционные методы повышения аэродинамических параметров шахтных вентиляторов путем совершенствования формы профилей лопаток рабочих колес практически исчерпали свои возможности, а дальнейшее увеличение их габаритов и окружной скорости вращения ротора ограничено технологическими возможностями производства, эксплуатации и прочностными характеристиками.

Поэтому повышение технических параметров ГВУ, увеличение эффективности шахтных вентиляторов может быть достигнуто за счет повышения их адаптивных свойств путем расширения глубины регулирования, повышения аэродинамической нагруженности и совершенствования их компоновочных схем.

1. Энергетические методы повышения адаптивности

Анализ известных энергетических методов управления обтеканием изолированных профилей и рабочих колес турбомашин показывает, что высокой эффективностью обладают методы струйного управления обтеканием профилей, которые повышают аэродинамическую нагруженность и адаптивность турбомашин и в частности центробежных вентиляторов.

Используемые в настоящее время регулирующие устройства могут быть условно отнесены к механическим средствам регулирования, поскольку действие их основано на механической трансформации геометрии проточной части вентилятора. Большие потенциальные возможности в плане увеличения глубины экономичного регулирования заложены в активных (энергетических) методах управления аэродинамическими процессами в проточной части вентилятора [3]. Их реализация позволяет создать принципиально новое средство регулирования режима работы центробежного вентилятора – энергетический направ-

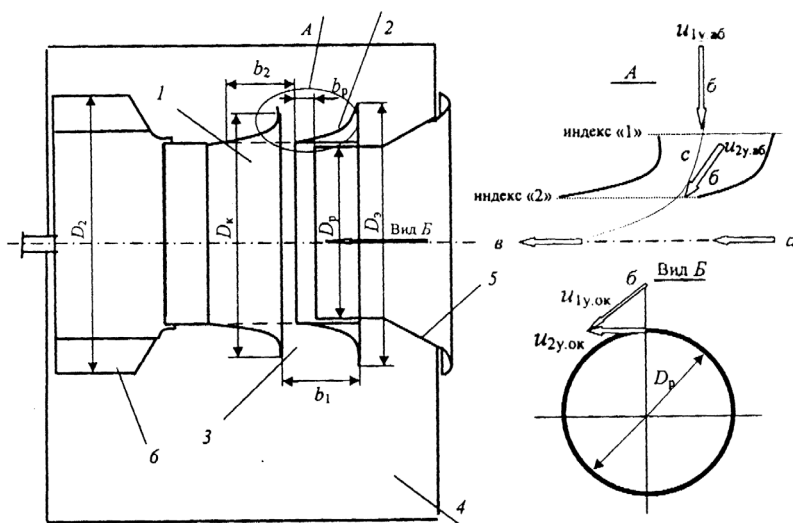


Рис. 2. Схема вихревого направляющего аппарата

ляющий аппарат (ЭНА). На рис. 2 приведена схема центробежного вентилятора с ЭНА. Конструктивно ЭНА состоит из входного 1 и пристенного 2 коллекторов (направляющего экрана) установленных в полости высокого давления корпуса 4 вентилятора на обечайке входного патрубка 5. Криволинейный кольцевой канал 3, образованный входным коллектором 1 и направляющим экраном 2 непосредственно сообщает полость высокого давления корпуса 4 вентилятора со входом в рабочее колесо 6.

Изменение расхода управляющего потока позволяет регулировать закрутку суммарного потока, представляющего собой совокупность транзитного и управляющего потоков, и тем самым регулировать режим работы вентилятора. Наличие продольной и поперечной циркуляции протока в полости корпуса позволяет, рациональным способом спроектировав по линиям тока форму входного коллектора и направляющего экрана, использовать энергию кинетического момента управляющего потока для закрутки транзитного потока с минимальными потерями энергии на дросселирование.

Параметры потока полости корпуса вентилятора, являющегося носителем энергии управления, определяются режимом работы вентилятора. На аэродинамические процессы, протекающие в ЭНА от входа в него до зоны взаимодействия циркуляционного и транзитного потоков, существенное влияние оказывают его геометрические параметры: диаметры входного коллектора D_k , направляющего экрана D_s , диаметра регулирующего патрубка D_p , ширины входного сечения b_1 , выходного сечения b_2 , регулирующей заслонки b_p .

Ввиду чрезвычайно сложного пространственного течения в ЭНА были проведены его экспериментальные исследования на специально спроектированном, для решения поставленной задачи, стенде с вихревой камерой. Результаты эксперимента установлено, что требуемая мощность управляющего потока лежит в диапазоне 0,55–0,60 мощности смещенного потока и наибольшую эффективность имеет способ изменения ширины энергетического регулятора b_1 . Такой способ регулирования позволяет обеспечить в широком диапазоне

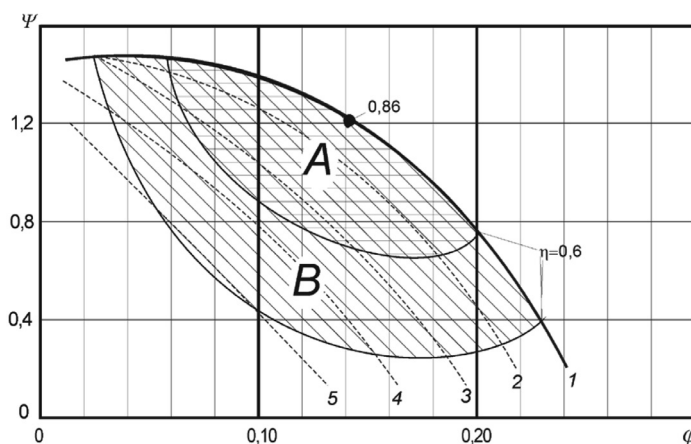


Рис. 3. Аэродинамическая характеристика и области режимов работы вентилятора аэродинамической схемы Ц120-18: А – с осевым направляющим аппаратом; В – с комбинированным направляющим аппаратом (ОНА+ЭНА); 1 – $\bar{b} = 0$, $\theta_{\text{на}} = 0^\circ$; 2 – $\bar{b} = 0,01$, $\theta_{\text{на}} = 10^\circ$; 3 – $\bar{b} = 0,02$, $\theta_{\text{на}} = 20^\circ$; 4 – $\bar{b} = 0,04$, $\theta_{\text{на}} = 30^\circ$; 5 – $\bar{b} = 0,05$, $\theta_{\text{на}} = 40^\circ$

постоянное соотношение скоростей управляющего потока и подачи вентилятора. В комбинации с осевым направляющим аппаратом (ОНА) ЭНА позволяет расширить область экономичного регулирования (рис. 3). Так для схемы Ц120-18 глубина экономичного регулирования по давлению E_ψ составляет 0,75, а по производительности E_ϕ – 0,74, что более чем на 40% превосходит параметры осевого направляющего аппарата. При этом средневзвешенный КПД установки в нормальной области работы возрастает с 0,64 до 0,71.

2. Повышение адаптивности вентиляторов путем радиального смещения потока

Конструктивное совершенствование традиционных типов воздуходувных машин – центробежных (радиальных) и осевых практически исчерпало свои потенциальные возможности, и наиболее перспективным направлением в настоящее время является ориентация на создание вентиляторов смешанного принципа действия, обладающих более эффективным использованием проточной части маши-

ны. Следствием этого является повышение аэродинамических параметров, увеличивающих адаптивные свойства, улучшение энергетических и шумовых характеристик без увеличения массогабаритных показателей и частот вращения рабочих колес, что представляет существенный интерес с точки зрения снижения энергетических затрат как на местное, так и на общешахтное проветривание.

Для этих целей на кафедре горной механики УГГУ совместно с ОАО «Красногвардейский крановый завод» была разработана конструкция осе-радиального (диагонального) вентилятора [4], состоящего из корпуса, выполненного в форме конуса на участке рабочего колеса, рабочего колеса с лопатками и конической втулки, обтекателя и лопаточного спрямляющего аппарата.

Более высокие аэродинамические и энергетические показатели достигаются в данной конструкции за счет соответствующей формы корпуса и втулки вентилятора в области рабочего колеса и спрямляющего аппарата, что дает возможность использовать радиальное

давление, возникающее вследствие радиального смещения воздушного потока в процессе его закручивания в рабочем колесе. При этом происходит расширение области устойчивой работы и промышленного использования вентилятора путем уменьшения вращающегося срыва в его лопаточных венцах. Указанная цель достигается тем, что отношение углов конусности втулки и корпуса составляют 1,33–1,28. При данных отношениях углов конусности втулки и корпуса достигается достаточно полное использование центробежных сил, действующих в рабочем колесе в направлении радиуса от втулки к корпусу и создающих статическое давление, препятствующее возникновению вращающегося срыва.

Опытные образцы разработанных осе-радиальных вентиляторов ВМЭ-8,2ГК были изготовлены и испытаны на ОАО «Красногвардейский крановый завод». В результате испытаний была получена аэродинамическая характеристика вентилятора и подтверждены основные положения теоретических исследований аэродинамики диагональных вентиляторов. На рис. 4 приведены результаты испытаний и предварительного расчета аэродинамических параметров вентилятора. На экспериментальной модели были получены параметры в области максимального КПД: давление 4050 Па, производительность – 15 м³/с, что превышает параметры аналогичных осевых вентиляторов. Сравнительный анализ совмещенных характеристик вентиляторов ВМЭ-8,2ГК и ВМЭВО-8А, выпускаемого ЗАО ЗВО «Дон-вентилятор» (рис. 4) показывает, что разработанная конструкция вентилятора обеспечивает

большее давление (более чем на 9%), при этом диапазон подачи вентилятора увеличивается на 15%. Глубина экономического регулирования по давлению E_p равна 0,8, а по производительности E_q – 0,78, что на более чем на 10% превосходит параметры вентилятора ВМЭВО-8А.

3. *Повышение адаптивности компоновочных схем главных вентиляторных установок с центробежными вентиляторами*

Другим направлением повышения адаптивности установок к требуемым условиям эксплуатации является изменение компоновочного решения поверхностного комплекса, особенно с центробежными вентиляторами, которые являются громоздкими из-за наличия обводных каналов и переключателей ляд. Всесторонний анализ существующих компоновочных схем поверхностных комплексов центробежных ГВУ и аэродинамических схем центробежных вентиляторов со всей очевидностью приводит к пониманию того, что реализация реверсив-

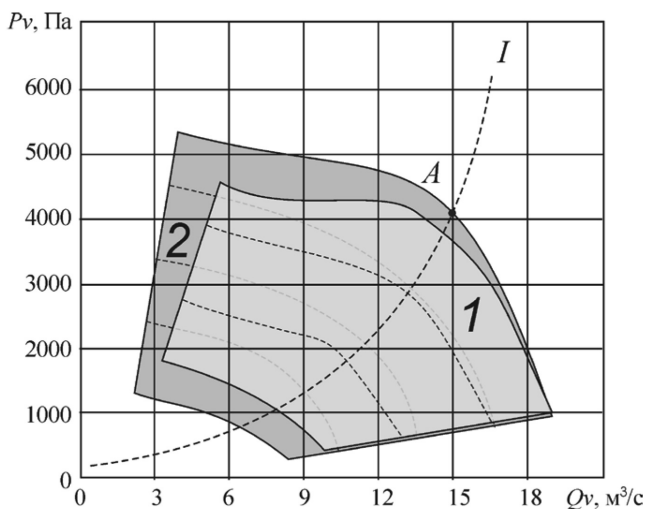


Рис. 4. Аэродинамическая характеристика и области режимов работы вентиляторов: 1 – вентилятор ВМЭВО-8А; 2 – осе-радиальный вентилятор ВМЭ-8,2ГК; I – характеристика внешней сети; A – точка оптимальной работы вентилятора

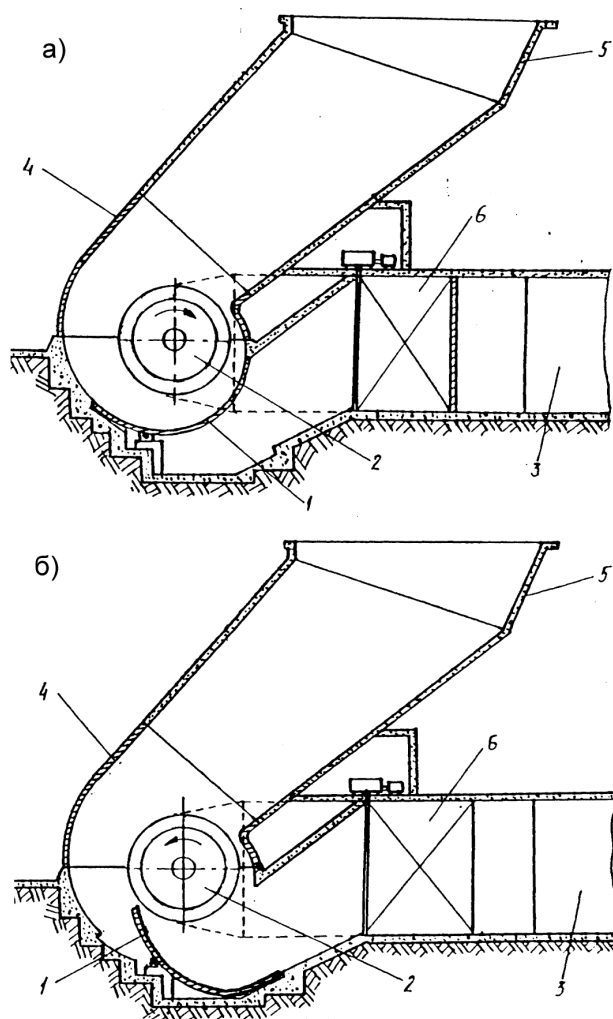


Рис. 5. Схема реверсивного центробежного вентилятора

ности установок должна достигаться не за счет дополнительных устройств, а внутренней сущностью самой конструкции вентилятора. Идея использования всасывающего свойства решетки центробежного колеса воздуха извне заложена в принципиально новое конструктивное решение центробежного вентилятора, обеспечивающее реверсирование воздушной струи обратным вращением ротора машины. При этом схема центробежного вентилятора при переводе его в ре-

версивный режим работы трансформируется в схему диаметральной машины [5].

Вариант компоновочной схемы с таким вентилятором представлен на рис. 5. Отличительной особенностью вентилятора является выполнение части спирального корпуса в виде поворотных заслонок (створок) 1 и рабочего колеса 2 специальной конструкции.

В нормальном (всасывающем) режиме работы ГВУ (рис. 5, а) при вращении рабочего колеса по часовой стрелке (лопатки отогнуты назад) и открытых входных направляющих аппаратов (ВНА) воздух из шахты по подводящему каналу 3 через входные коробки и ВНА 6 поступает в рабочее колесо 2 и далее через спиральный корпус 4 и диффузор 5 выбрасывается в атмосферу. Поворотная заслонка 1, в этом режиме находится в положении «закрыто» и является частью спирального корпуса. Таким образом, в нормальном режиме проветривания аэродинамическая схема вентилятора практически

идентична (за исключением конструкции рабочего колеса) существующим в настоящее время.

В реверсивном (нагнетательном) режиме работы ГВУ (рис. 5, б) поворотные заслонки 1 устанавливаются в открытое положение, входные направляющие аппараты полностью закрываются. Рабочее колесо 2 в этом режиме вращается против часовой стрелки (лопатки загнуты вперед) и воздух из диффузора 5 поступает внутрь колеса и далее под действием центробежных

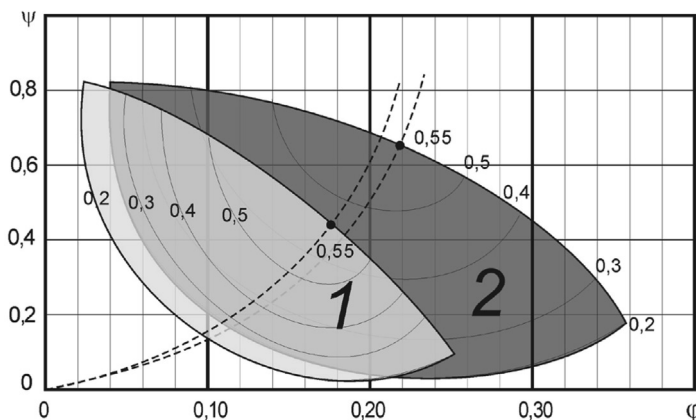


Рис. 6. Аэродинамическая характеристика и области режимов работы компоновочных схем поверхностных комплексов: 1 – с центробежным вентилятором Ц70-20; 2 – с радиально-диаметральным вентилятором ЦР80-20

сил выбрасывается из него в подводящий канал 3 и поступает в шахту. Таким образом, при аварийном проветривании центробежный вентилятор переводится в режим работы диаметральной машины (аэродинамическая схема центробежного вентилятора превращается в схему диаметрального вентилятора), что при выполнении основных конструктивных требований к вентиляторам этого типа обеспечит ГВУ высокие вентиляционные параметры по подаче и статическому давлению, удовлетворяющие требованиям Правил безопасности к установкам в части их реверсирования.

В результате проведенных экспериментальных исследований на испытательной станции НИИПП «Турмаш» [6] была синтезирована схема радиально-диаметрального вентилятора, получившего название ЦР80-20. Для предложенного технического решения определена аэродинамическая характеристика и область режимов работы компоновочных схем поверхностных комплексов. На рис. 6 приведена указанная характеристика в сравнении с компоновочным решением традиционной аэродинамической схемы центробежного вентилятора Ц70-20.

Несмотря на некоторое падение КПД вентилятора в прямом режиме работы, общий КПД поверхностного комплекса установки главного проветривания сохранился на прежнем уровне благодаря сокращению потерь в поверхностном комплексе. Следствием этого также стало расширение областей промышленного использования установки и, соответственно, повышение ее адаптивных свойств.

За счет принципиально нового решения компоновочной схемы поверхностного комплекса удельная площадь, занимаемая установкой снижается до значения $0,62 \text{ м}^2/\text{кВт}$, что в 2 раза ниже показателя используемых схем в настоящее время. Средневзвешенный КПД установки в нормальной области работы возрастает с 0,44 до 0,46.

Внедрение предлагаемых технических решений, направленных на повышение адаптивных свойств шахтных вентиляторов и создаваемых на их основе поверхностных комплексов главных вентиляторных установок позволяют снизить затраты на общешахтное проветривание и повысить эффективность горного производства.

1. Копачев В.Ф. Сравнительный анализ компоновочных схем поверхностных комплексов главных вентиляторных установок // Известия УГТГА. Сер.: Горная электромеханика. – 2000. – Вып. 9. – С. 177–181.
2. Бабак Г.В., Бочаров К.П., Волохов А.Т. и др. Шахтные вентиляторные установки главного проветривания. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
3. Копачев В.Ф., Макаров Н.В. Регулирование центробежных вентиляторов энергетическим направляющим аппаратом // Горное оборудование и электромеханика. 2007. – № 5. – С. 43–46.
4. Тимухин С.А., Копачев В.Ф., Каргин И.В., Сарасек Б.С. Диагональный вентилятор. Патент на изобретение № 2455528 от 05.05.2010 г.
5. Копачев В.Ф. Моделирование радиально-диаметральной установки главного проветривания. // Известия вузов. Горный журнал. – 2005. – №2. – С. 38–40.
6. Копачев В.Ф. Экспериментальные исследования реверсивной центробежной установки главного проветривания // Горные машины и автоматика. – 2004. – № 9. С. 29–32. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Копачев Валерий Феликсович – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: ValeriyKopachev@m.ursmu.ru,
Уральский государственный горный университет.

UDC 622.44

EFFECT OF ADAPTIVE PROPERTIES OF FANS ON THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF THE SURFACE COMPLEXES THE MAIN FAN SYSTEMS

Kopachev V.F., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
e-mail: ValeriyKopachev@m.ursmu.ru,
Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, Russia.

The article describes the methods to improve the adaptability of mine fans. Are constructive solution to the energy guide vane axial-radial fan and radial-diametrical installation of main ventilation. Given the aerodynamic characteristics of these systems, the resulting experimental studies. Shows the basic indicators for these types of installations.

Key words: fan, fan installation, ventilation, ventilation system layout scheme.

REFERENCES

1. Kopachev V.F. *Izvestiya UGGA. Seriya: Gornaya elektromekhanika*. 2000, issue 9, pp. 177–181.
2. Babak G.V., Bocharov K.P., Volokhov A.T. *Shakhtnye ventilyatornye ustanovki glavnogo provetrivaniya* (Main mine fans), Moscow, Nedra, 1982, 296 p.
3. Kopachev V.F., Makarov N.V. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2007, no 5, pp. 43–46.
4. Timukhin S.A., Kopachev V.F., Kargin I.V., Sarasek B.S. *Patent RU 2455528*, 05.05.2010.
5. Kopachev V.F. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*. 2005, no 2, pp. 38–40.
6. Kopachev V.F. *Gornye mashiny i avtomatika*. 2004, no 9, pp. 29–32.

