



В. В. ГРЯДУЩАЯ,
канд. техн. наук



В. А. СТЕШЕНКО,
канд. техн. наук



А. В. БУГАЕВ,
инж.



Я. К. ШЕВЧЕНКО,
аспирант
(ПАО «НИИГМ
им. М. М. Федорова)

Основные направления повышения энергоэффективности шахтных вентиляторных установок главного проветривания

В 1958 г. на базе отдела горной механики Института горного дела АН УССР им. М. М. Федорова была создана лаборатория шахтных центробежных (радиальных) вентиляторов (до 1960 г. отделом руководил академик АН УССР В. С. Пак, в 1960 г. руководителем был назначен канд. техн. наук Г. А. Бабак). Главным направлением научных исследований лаборатории было определено создание вентиляторов радиального типа с техническими показателями не ниже мирового уровня. В этих целях были проведены теоретические и экспериментальные исследования для достижения максимальной экономичности по полному КПД (0,89–0,90) и статического давления до 500 даПа. К концу 50-х годов XX в. специалисты лаборатории разработали аэродинамические схемы Ц35-20 и Ц35-15 радиальных вентиляторов с загнутыми назад профильными лопатками, которые характеризовались максимальными полными КПД.

В сравнении с аэродинамическими схемами, по которым были спроектированы и изготовлены шахтные вентиляторы главного проветривания с радиально оканчивающимися и слегка загнутыми назад листовыми лопатками (вентиляторы ВЦО и ВЦД), новые вентиляторы имели на 10–15 % выше максимальные статические КПД, меньший уровень шума и другие технические преимущества. По указанным новым схемам Ц35-20 и Ц35-15, а позднее по схемам Ц38-12 и Ц36-15 одно- и двустороннего всасывания были спроектированы и изготовлены радиальные вентиляторы для главного проветривания шахт и рудников ВЦ11; ВЦН1,6; ВЦ16; ВЦ25; ВЦ32; ВЦ31,5; ВЦД31,5; ВЦД40; ВЦД47 «Север»; ВЦД47У; ВЦД47,5УМ; ВЦ31,5М2; ВЦД31,5М2.

По экономичности (статические КПД составляют 0,84–0,85) и другим техническим преимуществам перечисленные шахтные вентиляторы превосходят применяемые, потому широко внедрены для главного проветривания шахт и рудников.

Теоретические и системные экспериментальные исследования моделей радиальных вентиляторов (свыше 170 модельных образцов) проведены на аэродинамических стендах института с камерами всасывания диаметрами 1,5 и 2 м (чертежи Центрального аэрогидродинамического института им. профессора Н. Е. Жуковского) по стандартной методике. Лучшие из испытанных моделей использованы в проектах вентиляторных установок, которые изготовлены Каменским (Ростовская обл., РСФСР), Артемовским (Свердловская обл., РСФСР) и Донецким машиностроительными заводами (УССР) и внедрены для главного проветривания шахт и рудников.

В настоящее время в лаборатории шахтных вентиляторов на моделях проводятся экспериментальные исследования на аэродинамическом стенде с камерой диаметром 1,5 м (рис. 1), направленные на снижение энергопотребления радиальных вентиляторов.

В связи с этим на договорной основе с шахтами институт предлагает варианты схем и проектов для реализации их в шахтных условиях.

Энергопотребление моделей вентиляторов и вентиляторов в составе вентиляторных установок существенно отличается, так как во время работы на шахтную вентиляционную сеть наблюдаются потери давления установок на внешние подсосы воздуха в поверхностных сооружениях (через резервный вентилятор, неплотности в здании вентиляторов, вентиляционные каналы, через утечки воздуха в копровых сооружениях на шахтной поверхности, а также через неплотности в скиповых и вентиляционных стволах, в подводящем канале от ствола к вентиляторной установке). Поэтому необходимо проводить научно-исследовательские работы, направленные на повышение их энергоэффективности как на моделях вентиляторов в лабораторных условиях, так и на вентиляторах в шахтах.

В одном из мощных объединений по добыче угля в Донбассе – ГП «Макеевуголь» усредненное энергопотребление электроэнергии группой потребителей от общего годового потребления шахтами [6] составляет: вентиляторы главного проветривания – 31,7; водоотливные установки – 24,5; компрессорные установки – 12,3; подъемные установки – 7,4; подземный транспорт – 7; добычные участки – 4,4; подготовительные участки – 2,3; другие подземные сооружения – 6,5 %. Поскольку по этим данным можно оценить фактические затраты электропотребления по объединению, то, например в 2008 г., наиболее энергоемкими были главные вентиляторы шахт, потребляющие до 50 % электроэнергии, затрачиваемой при добыче угля.

Показатели энергопотребления ГП «Макеевуголь» в 2008 г. распределялись следующим образом, %: по шахтам им. В. М. Бажанова – 45,85, «Калиновская-Восточная» – 11,22, «Холодная Балка» – 33,6, им. В. И. Ленина – 25,38, «Бутовская» – 20,12, «Ясиновская-Глубокая» – 50,52, «Северная» – 37,51; по шахтоуправлениям «Чайкино» – 27,52 и им. С. М. Кирова – 27,38. Снижение подачи и давления вентиляторов, а также энергопотребления необходимо согласовывать со службой вентиляции и техники безопасности, определять соответствие существующим стандартам [1,2], регламентирующим минимально допустимый статический КПД вентилятора, который составляет 0,6. Тогда согласно предлагаемой в стандарте [1] методике, энергопотребление вентилятора будет 1,28.



Рис. 1. Аэродинамический стенд для моделирования параметров вентиляторов главного проветривания.

Из-за изменений в шахтной вентиляционной сети (при работе шахты удлиняются выработки, изменяются эквивалентные отверстия выработок [2], их аэродинамическое сопротивление), а также по другим причинам рабочий режим вентилятора выходит за пределы рабочей области, ограниченной статическим КПД, равным 0,6. В ряде случаев он снижается до 0,3–0,4. Осевые направляющие аппараты при постоянной частоте вращения ротора радиального вентилятора при углах установки лопаток 60–70° – главная причина низкой экономичности работы. В этих случаях необходимы новые технические решения, направленные на повышение энергоэффективности вентиляторов радиального типа.

Так, радиальные вентиляторы ВЦО-2,5, ВЦО-3,1, ВЦД-2,2, ВЦД-3,3 и ВЦ-5 с листовыми лопатками рабочих колес имеют максимальный статический КПД 0,7–0,72, что на 8–10 % ниже, чем у радиальных вентиляторов, выпускаемых в настоящее время, например заводом «Донецкгормаш» (ВЦ-31,5М2, ВЦД-31,5М2, ВЦД-47,5УМ), с профильными загнутыми назад лопатками рабочих колес. Эти типы вентиляторов проектировали в соответствии с аэродинамическими параметрами подачи и давления снятых с производства перечисленных вентиляторов устаревших образцов. Особенно большие потери электроэнергии имеют мощные вентиляторы с профильными лопатками (ВРЦД-4,5, ВЦД-47У, ВЦД-47,5УМ), мощности электродвигателей которых достигают 4000 кВт [1, 5]. Поэтому на стадии технических заданий, утвержденных Минуглепромом Украины, были разработаны технические задания для радиальных вентиляторов ВР-15, ВР-20, ВР-25 взамен аналогичных вентиляторов, которые изготавливались ранее и в настоящее время изготавливаются Артемовским машиностроительным заводом (Свердловская обл., Россия).



Типоразмеры радиальных вентиляторов с меньшими аэродинамическими параметрами по подачам и давлениям имеют номинальные статические КПД 0,85–0,86 и находятся, по данным технических заданий, на мировом уровне вентиляторостроения. Аэродинамические характеристики вентиляторов ВР-15, ВР-20, ВР-25 определены по пересчету с испытанных на аэродинамическом стенде моделей Ц35-20, Ц75-16, разработанных НИИГМ и Донгипроуглемашем.

В изложенных научно-технических предложениях по повышению энергоэффективности вентиляторов ВР-15, ВР-20, ВР-25 применен осевой направляющий аппарат [2–7]. Регулировочные характеристики вентиляторов приведены в монографиях [3, 5]. Для более мощных вентиляторов целесообразно использовать в сочетании с осевым направляющим аппаратом регулируемый электропривод [4].

Максимальная эффективность работы вентиляторного агрегата по рекомендации доктора технических наук, проф. Г. А. Бабака снижается за счет КПД регулируемого электропривода. Поэтому для объективного сравнения экономичности эксплуатации шахтных вентиляторов главного проветривания не-

обходимо рассматривать их аэродинамические характеристики с учетом КПД электропривода [8]. При этом потребляемую вентиляторным агрегатом мощность определяют из выражения $N_a = N_b / \eta$ (N_b – мощность на валу вентилятора; η – КПД электропривода).

Мощность на валу вентилятора указана в паспорте завода-изготовителя, поэтому по данным КПД электропривода можно рассчитать потребляемую вентиляторным агрегатом мощность. По параметрам подачи, статического давления, потребляемой мощности вентиляторным агрегатом определяют статический КПД вентиляторного агрегата, эксплуатируемого в условиях проветривания шахты.

Отметим, что максимальная энергоэффективность вентилятора, эксплуатируемого на шахтную вентиляционную сеть, достигается при условии, когда сеть шахты проходит через точку номинального режима вентилятора, где статический КПД вентилятора максимальный, что соответствует паспортным документам на вентилятор завода-изготовителя.

Статический КПД вентиляторного агрегата определяют из выражения $\eta'_a = \eta_{sv} \eta$ (η_{sv} – статический КПД

Параметр	ВР-15	ВР-20	ВР-25	
Номинальный диаметр рабочего колеса вентилятора, мм	1500	2000	–	
Номинальный диаметр рабочего колеса вентилятора, мм (предельное отклонение $\pm 5\%$)	–	–	2500	
Номинальная подача, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ (предельное отклонение $\pm 10\%$)	34	56	90	
Номинальное давление, Па (предельное отклонение $\pm 10\%$):	полное	6300	4500	–
	статическое	6200	4400	4500
Максимальный коэффициент полезного действия, не менее:	полный	0,86	0,87	–
	статический	0,85	0,86	–
Максимальный статический коэффициент полезного действия (предельное отклонение $-0,02$):	–	–	0,86	
Мощность электропривода, кВт, рекомендуемая	315	515	–	
Мощность электропривода, кВт, не более	–	–	630	
Частота вращения (в зависимости от заказа), мин^{-1}	1500, 1000	1000, 750	–	
Частота вращения, мин^{-1}	–	–	750	
Способ регулирования	Направляющим аппаратом			
Удельное энергопотребление (предельное отклонение $+0,05$)	1,28	1,28	1,28	
Масса вентилятора без комплекта средств для реверсирования воздушной струи и перехода с рабочего на резервный (КСРП), кг, не более:	без электрооборудования и электродвигателя	5500	8000	–
	с электродвигателем без электрооборудования	8400	11000	–
	Масса вентилятора без входных и выходных элементов установки и без КСРП, кг	–	–	95000
Масса комплекта с КСРП и электрооборудованием, кг, не более	12300	16000	–	

вентилятора по паспортным данным завода-изготовителя; η – КПД электропривода вентилятора).

В нормальной области режимов средневзвешенный статический КПД вентиляторного агрегата следует вычислять по методике проф. Г. А. Бабака [8] аналогично определению КПД вентилятора в соответствии с действующим стандартом [1] на вентиляторы шахтные главного проветривания.

Чтобы построить аэродинамические характеристики вентиляторных агрегатов, следует использовать данные электроприводов, выпускаемых заводами-изготовителями. При этом КПД регулируемых электроприводов определяют в зависимости от нагрузки, удельное энергопотребление вентиляторного агрегата – по формуле Г. А. Бабака [8].

Выпускаемые в настоящее время заводом «Донецкгормаш» шахтные радиальные вентиляторы главного проветривания по просьбе заказчика комплектуют в зависимости от способа регулирования аэродинамических параметров (подачи и давления) осевыми направляющими аппаратами или регулируемым электроприводом, осевой направляющий аппарат должен функционировать и при изменении частоты вращения ротора.

В опубликованных работах [6, 7] по внедрению регулируемого электропривода на вентиляторах главного проветривания отмечается высокая эффективность такой модернизации вентиляторных установок. При этом получены следующие результаты:

- экономический эффект от использования вентилятора ВРЦД-4,5 скипового ствола шахты «Западно-Донбасская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» составляет 1435444 кВт·ч электроэнергии в год. Тип преобразователя частоты ПЧСВ6/32 [7];

- экономический эффект от применения вентиляторной установки ВЦД-31,5М2 на ОП «Шахта им. С. М. Кирова» ГП «Макеевуголь» составляет 2,6 млн грн в год [6]. Преобразователи частоты ACS-800-07-1740-7 (ABB) можно вмонтировать в схему функционирования вентиляторов. Регулируемый электропривод типа ACS-800-07-1740-7 (ABB) с асинхронным электродвигателем с фазным ротором смонтирован и функционирует на установке с вентиляторами ВЦД-31,5М2 на вентиляционном стволе ГП «Шахта им. С. М. Кирова» в г. Макеевке.

Для объективной оценки энергопотребления вентиляторов главного проветривания и принятия решений в целях повышения их энергоэффективности необходимо учитывать статический КПД вентилятора во время его работы на шахтную вентиляционную сеть и КПД регулируемого электропривода, если в условиях эксплуатации шахты имеется возможность для снижения аэродинамических параметров (подачи и давления) вентилятора.

На основе приведенной в ГОСТ 11004-84–92 методики определения удельного энергопотребления вентилятора главного проветривания авторами предложена новая методика определения и оценки удельного энергопотребления по параболе вентиляционной сети шахты, причем последнюю определяют по формуле $E = 1/\eta_s$, которая отражает энергоэффективность вентилятора за длительный период его эксплуатации. При этом рабочий режим вентилятора может меняться в зависимости от изменения шахтной вентиляционной сети. Эта идея была апробирована на вентиляторе нового поколения ВЦД-31,5М2, характеристики которого приведены на рис. 2 (где N – мощность вентилятора, Q – подача, $\Theta_{о.н.а}$ – угол поворота лопаток осевого направляющего аппарата).

Шахтная вентиляционная сеть, проведенная через точку максимального КПД вентилятора, является наиболее рациональной по экономическим показателям при изменении сопротивления сети, которая характеризуется квадратичной параболой (рис. 3).

Для вентиляторов главного проветривания, работающих в пределах рабочей области (статический КПД располагается выше 0,6), энергопотребление следует определять по методике, изложенной в Приложении 4 ГОСТ 11004-84–92. При уменьшении статического КПД вентилятора от 0,6 до 0,3 во время работы с вентиляционной сетью и практически закрытыми осевыми направляющими аппаратами рационально применять регулируемый электропривод, а лопатки осевого направляющего аппарата устанавливать в положение 0° . Тогда в случае совместного регулирования режимов энергоэффективность вентилятора будет максимальной. При этом статический КПД вентилятора может повышаться на 10–20 %.

В настоящее время на предприятиях Украины изготавливают новые регуляторы частоты вращения электродвигателей, которые характеризуются относительно высокими КПД. Стоимость частотного регулятора, например типа ПЧСВ 6/32, при снижении энергопотребления вентилятора окупается за один-два года, разработан научно-производственной компанией «Элетекс» (Харьков). В сравнении с электро-

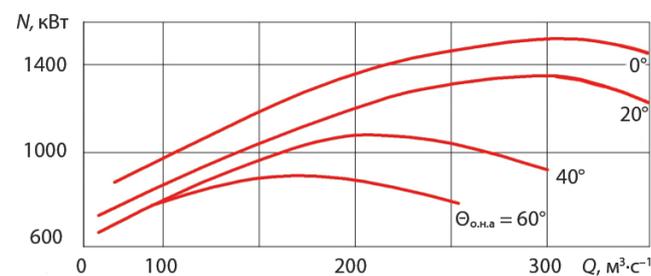


Рис. 2. Аэродинамические характеристики вентиляторов ВЦД 31,5М2.

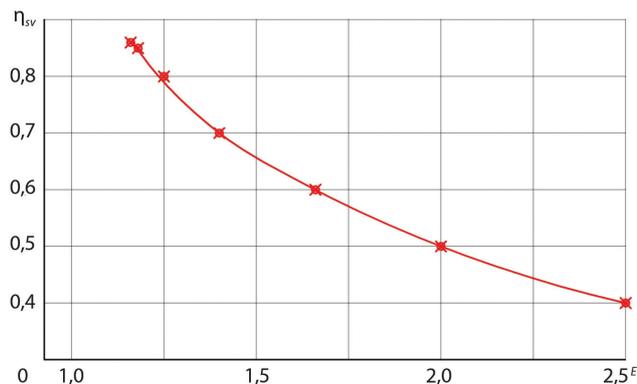


Рис. 3. Зависимость статического КПД от энергопотребления вентилятора ВЦД 31,5М2.

потреблением вентилятора ВРЦД-4,5 без регулируемого электропривода и с его внедрением годовое потребление электроэнергии уменьшилось на 1,43 млн кВт·ч, или на 6,4 %.

Экономическая положительная составляющая в результате применения регулируемого электропривода вентилятора ВРЦД-4,5 дополняется механической характеристикой системы электропривод–вентилятор, так как плавный запуск электропривода создает техническую возможность для повышения надежной и безаварийной эксплуатации вентиляторной установки и всех механизмов, которые являются конструктивными составляющими вентиляционного комплекса шахты (направляющие аппараты, зубчатые муфты, роторы вентиляторов, комплект средств для реверсирования воздушной струи в шахту и перехода с рабочего на резервный вентилятор, лебедки переключения ляд, средства автоматизации и управления вентиляторами).

Один из эффективных способов повышения экономии электроэнергии, потребляемой вентиляторными главным проветривания, – снижение внешних подсосов в каналах вентиляторной установки и поверхностных сооружениях (здании, скиповом или вентиляционном стволах, а также через неплотности ляд переключения резервного вентилятора). В НИИГМ разработан способ снижения электропотребления шахтной вентиляторной установки главного проветривания за счет сокращения внешних утечек воздуха.

В работе [9] показано как оценить экономию электроэнергии от сокращения подсосов воздуха (от повышения степени герметичности вентиляторной установки) и получить конкретный эффект на работающих установках главного проветривания шахт. Так, при снижении подсосов воздуха на 15 % исходных для осевого вентилятора ВВД-21 шахты «Новая» ГП «Дзержинскуголь» годовая экономия электроэнер-

гии составила 649 тыс. кВт·ч. Методика приемлема также и для радиальных вентиляторов.

Выводы. Для повышения энергоэффективности радиальных вентиляторов главного проветривания необходимо рационально использовать одновременно два вида регулирования подачи и давления – с помощью регулируемого электропривода и осевого направляющего аппарата.

Энергопотребление радиального вентилятора следует определять с учетом КПД регулируемого электропривода.

Целесообразно рекомендовать к применению радиальные вентиляторы малых типоразмеров ВР-15, ВР-20, ВР-25 с регулированием режимов подачи и давления осевыми направляющими аппаратами, которые могут быть разработаны ПАО «Донецкгормаш» (Донецк) на основании технических заданий НИИГМ им. М. М. Федорова, Донгипроуглемаша, ПАО «Донецкгормаш», утвержденных Минэнергоуголь Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вентиляторы шахтные главного проветривания. Технические условия: ГОСТ 11004–84 с дополнениями с 01.01.92.* – М.: Стандарт, 1992. – 32 с.
2. *Картавий Н. Г.* Стационарные машины: учеб. для вузов / Н. Г. Картавий. – М.: Недра, 1981. – 327 с.
3. *Носырев Б. А.* Вентиляторные установки шахт и метрополитенов: учебное пособие / Б. А. Носырев, С. В. Белов. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2000. – 278 с.
4. *Бугаев А. В.* Исследование и разработка эффективного способа регулирования аэродинамических параметров подачи, статического давления и снижения энергопотребления шахтного радиального вентилятора главного проветривания / А. В. Бугаев // Проблемы експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок: зб. наук. пр. – Донецьк, 2008. – Вип. 102–103. – С. 190–196.
5. *Шахтные вентиляторные установки главного проветривания: Справочник / Г. А. Бабак, К. П. Бочаров, А. Т. Волохов и др.* – М.: Недра, 1982. – 296 с.
6. *Ковалев Ю. Г.* Оптимизация энергопотребления шахтными вентиляторными установками / Ю. Г. Ковалев, А. В. Сизоненко // Уголь Украины. – 2009. – № 12. – С. 14–16.
7. *Кохан П. С.* Энергоэкономия на угльных шахтах. Досягнення і перспективи / П. С. Кохан // Уголь Украины. – 2008. – № 8. – С. 17–19.
8. *Бабак Г. А.* Аэродинамические характеристики вентиляторного агрегата / Г. А. Бабак // Уголь Украины. – 1985. – № 4. – С. 29–30.
9. *Лобода В. В.* Экономия электроэнергии при эксплуатации вентиляторов главного проветривания / В. В. Лобода, Л. Н. Архангельский, В. А. Стешенко // Уголь Украины. – 2003. – № 11. – С. 31.