

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Матвеев Ю.В.

Севастопольский государственный университет, Севастополь

Ключевые слова: энергоэффективность, вентиляция, электропривод, воздух, производительность, шахта.

Аннотация. Значительную долю электроэнергии на шахте потребляют вентиляционные установки. Поэтому вопросы улучшения энергоэффективности электроприводов вентиляционных установок играют одни из первостепенных задач, требующих своего решения. В связи с этим в статье одновременно рассматриваются вопросы, связанные с возможными причинами большого расхода электроэнергии на шахте и направления по повышению энергоэффективности применяемых электроприводов в зависимости от условий эксплуатации вентиляционных установок. В этих условиях для повышения энергоэффективности важным является согласование режима работы вентилятора и вентиляционной сети шахты, что решается с применением регулируемого электропривода вентилятора. В связи с этим представляет интерес сделать оценку существующих способов шахтной вентиляции, а также провести сравнительный анализ применения центробежных и осевых вентиляторов, типов применяемых для этой цели электроприводов. Кроме того, рассматриваются возможные перспективные схемы энергоэффективных электроприводов вентиляторов.

THE MAIN DIRECTIONS OF IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRIC DRIVES OF MINE VENTILATION UNITS

Matveev Yu.V.

Sevastopol state university, Sevastopol

Keywords: energy efficiency, ventilation, electric drive, air, productivity, shaft.

Abstract. Ventilation installations consume a significant share of electricity at the mine. Therefore, the issues of improving the energy efficiency of electric drives of ventilation installations play one of the primary tasks that require their solution. In this regard, the article simultaneously discusses issues related to the possible causes of high electricity consumption at the mine and directions for improving the energy efficiency of the electric drives used, depending on the operating conditions of ventilation installations. In these conditions, in order to increase energy efficiency, it is important to coordinate the operating mode of the fan and the ventilation network of the mine, which is solved with the use of an adjustable electric fan drive. In this regard, it is of interest to evaluate the existing methods of shaft ventilation, as well as to conduct a comparative analysis of the use of centrifugal and axial fans, types of electric drives used for this purpose. In addition, possible promising schemes of energy efficiency are being considered.

Введение. Вопросы борьбы с пылью и газами в шахтах, проветривания горных выработок представляют одну из самых сложных задач в горном деле. По некоторым оценкам потребление электроэнергии этими системами составляет от 50 до 60% от общего электропотребления. В связи с вышесказанным, вопросы повышения энергоэффективности применяемых систем вентиляции, уменьшения их электропотребления, применения более энергоэффективных электроприводов являются достаточно актуальными.

Материалы исследований. Основное отличие шахтных вентиляторов от вентиляторов, применяющихся в других отраслях промышленности – это большая производительность при довольно высоких параметрах по давлению. Производительность этих вентиляторов может достигать до 400...600 м³/с при величине разности давления, создаваемая ими от 0,4 до 10,0 кПа [1]. По своему назначению шахтные вентиляторы условно делятся на три группы:

– главные вентиляторы, обслуживающие вентиляционную сеть всей шахты или большей ее части;

– вспомогательные вентиляторы, обслуживающие значительную часть подземной вентиляционной сети шахты или работающие совместно с главным;

– вентиляторы местного проветривания, обеспечивающие воздухом отдельную выработку.

Главный вентилятор обеспечивает воздухом все сквозные выработки вентиляционной сети. Он располагается, как правило, на поверхности у выхода воздушной трассы, при этом всасывание воздуха обычно идет по восходящему пути. Такие вентиляторы устанавливаются при подъеме стволов шахты или используются для притока или вытяжки воздуха, обеспечивая замкнутый контур для воздуха. В свою очередь, вспомогательные вентиляторы, размещаемые под землей, позволяют увеличить воздушный поток в более глубокие и отдаленные шахтные участки. В этом случае для создания высоких давлений воздуха используются многократные противоточные и прямоточные вентиляторы. Основной проблемой при эксплуатации такого типа вентиляторов, обслуживающих длинные воздушные трассы, являются утечки воздуха.

К вентиляторам местного проветривания предъявляют более жесткие требования, чем к остальным, а именно они должны:

- иметь возможность соединения с трубопроводом, по которому они подают (или отсасывают) воздух;
- быть взрывобезопасными и компактными;
- иметь регулируемую производительность.

Последнее требование связано с тем, что со временем растут длина выработки и, как следствие количество утечек воздуха.

Среди возможных типов вентиляторов для обеспечения циркуляции воздуха в вентиляционных установках шахты нашли применение центробежные и осевые вентиляторы. Рассмотрим их принцип работы и применение. В центробежном вентиляторе воздушный поток через входной трубопровод и направляющий аппарат поступает к колесу с лопатками, находящемуся в спиральном кожухе. За счет вращения рабочего колеса, воздух под действием центробежной силы и давления лопаток поступает через диффузор в нагнетательный трубопровод. Регулирование производительностью вентилятора осуществляется за счет направляющего аппарата с поворотными лопатками, установленного перед рабочим колесом. Принцип действия осевого вентилятора заключается в том, что вначале воздушный поток поступает на направляющий аппарат, а далее – на лопатки рабочего колеса и потом – на спрямляющий аппарат. В результате наличия обоих аппаратов воздушный поток приобретает устойчивость и повышенное давление. При этом, после воздействия лопаток рабочего колеса на воздушный поток, перед колесом появляется разрежение, а за колесом – давление. Производительность осевого вентилятора зависит от углов установки лопаток и закрылков направляющего аппарата. Центробежные вентиляторы имеют: устойчивую работу, возможность получения больших давлений и меньший уровень шума. В свою очередь, осевые вентиляторы имеют большую глубину регулирования по давлению за счет направляющих аппаратов и изменяемого угла поворота лопаток. Фактически рекомендуется использовать центробежные вентиляторы с давлением потока менее 1,0 кПа и более 3,0 кПа в системе. Для значений давления между этими значениями рекомендуется применять осевой вентилятор. При наличии влажности в воздухе более надежным является применение центробежного вентилятора. Однако эффективность работы этого вентилятора зависит от его расстояния от места установки. В сравнении с осевым вентилятором, эффективность центробежного вентилятора падает с расстоянием значительно быстрее. Поэтому, в таких случаях предпочитают применять осевой вентилятор. Режим работы осевого вентилятора может быть изменен путем регулировки угла лопасти. Однако, как показала практика, дистанционное управление углом лопастей вентилятора не всегда является надежным. Поэтому в обычной практике для регулировки угла положения лопастей необходимо останавливать вентилятор.

Среди основных решений, позволяющих уменьшить потери энергии в вентиляционных системах, следует отметить следующие:

- повышение эксплуатационного КПД вентиляторной установки;

- снижение утечек воздуха;
- улучшение состояния вентиляционной сети шахты;
- согласование режима работы вентилятора с характеристикой вентиляционной сети;
- регулирование производительностью установок;
- применение средств автоматизации при управлении установками.

Согласование режима работы вентилятора и вентиляционной сети шахты может осуществляться двумя способами: направляющими аппаратами и/или регулированием частоты вращения привода [2]. Оба способа являются энергосберегающими, однако более высокая экономия энергии достигается при регулируемом электроприводе.

К мероприятиям, связанным с согласованием режима работы вентилятора с характеристикой вентиляционной сети, относят:

- изменение угла установки лопаток рабочего колеса осевого вентиляторов;
- изменение угла установки лопаток направляющего аппарата центробежных вентиляторов;
- изменение положения закрылок лопаток рабочего колеса центробежных вентиляторов;
- повышение активной загрузки электропривода вентилятора;
- модернизация электрической части вентиляторных установок.

Основные затраты электроэнергии в шахтах связаны с работой электроприводов вентиляторов. При выборе электродвигателя по мощности и его последующей возможной замены необходимо определиться с его коэффициентом загрузки. С точки зрения энергоэффективности, двигатель, имеющий коэффициент загрузки менее 50%, подлежит обязательной замене на двигатель с меньшей мощностью. Оптимальным является коэффициент загрузки 0,7 и выше [3]. Для привода в движение вентилятора применяют регулируемый и нерегулируемый электропривод. Нерегулируемый привод применяют в случае, если достаточно применить аэродинамические способы регулирования подачи и давления воздуха с применением направляющих аппаратов.

В тоже время, по мере эксплуатации шахты, с течением времени, сопротивление вентиляционной сети становится переменным, и для согласования характеристик вентилятора и вентиляционной сети шахты становится необходимостью в применении регулируемого электропривода, Эффективность данного способа регулирования производительности достигается за счет того, что уменьшение скорости вращения вентилятора приводит к одновременному уменьшению его производительности и напора на нагнетании. При этом КПД вентилятора остается постоянным.

В целях получения достаточной энергоэффективности в электроприводах применяют следующие типы электродвигателей [4]:

- низковольтные асинхронные электродвигатели (АД) с фазным и короткозамкнутым ротором при потребляемой мощности 100...150 кВт;
- низковольтные синхронные электродвигатели (СД) при потребляемой мощности 150...350 кВт;
- высоковольтные СД на питающее напряжение 6 кВ при потребляемой мощности более 350 кВт.

При применении в электроприводе АД с короткозамкнутым ротором получили распространение частотно-регулируемые приводы с тиристорными (транзисторными) регуляторами напряжения, а также приводы с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Скорость вращения вала двигателя и вращающий момент на его валу определяют характеристиками привода. Вследствие того, что скорость вращения вала АД пропорциональна частоте сети, то изменением частоты питающего напряжения можно регулировать эту скорость. Недостатком применения АД является “просадка” питающего напряжения, например при его пуске, из-за больших пусковых токов. Поэтому для стабилизации характеристик привода производят дополнительную регулировку амплитуды питающего напряжения. На рисунке 1 изображена функциональная схема частотно-регулируемого привода.

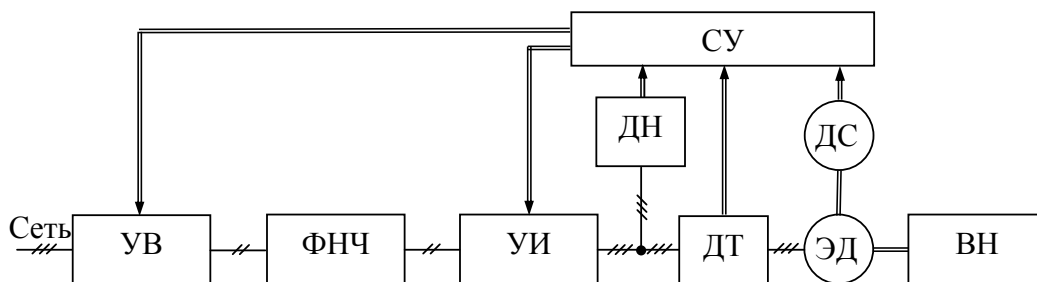


Рис. 1. Функциональная схема частотно-регулируемого привода

Данная схема включает: управляемый выпрямитель с регулируемым уровнем постоянного напряжения (УВ); фильтр нижних частот (ФНЧ), снижающий уровень высших гармоник; управляемый инвертор (ИН), преобразующий постоянный ток в переменный ток с заданной частотой; датчики тока и напряжения (ДТ, ДН), включающих измерительные трансформаторы тока и напряжения соответственно; тахометр или датчик скорости вращения вала двигателя (ДС); схема управления (СУ); электродвигатель (ЭД), приводящий в движение вентиляторную нагрузку (ВН) [5]. В схеме электропривода с ШИМ используется неуправляемый выпрямитель с инвертором, переменный ток которого на выходе, имея более низкий уровень высших гармоник, может регулироваться как по частоте, так и по уровню. Для привода в движение вентиляторов, с большей мощностью применяют асинхронные двигатели с фазным ротором и синхронные двигатели, имеющие питающее напряжение 6 или 10 кВ. Электропривод с АД с фазным ротором легче справляется с запуском рабочего колеса вентилятора, имеющего большой момент инерции ввиду его веса и конструкции. Для повышения коэффициента мощности применяют компенсаторы реактивной мощности. Регулирование скорости электропривода вентилятора может быть ступенчатым (многоскоростной асинхронный двигатель и асинхронный двигатель с фазным ротором при реостатном регулировании) и плавным бесступенчатым [6]. Бесступенчатое регулирование скорости в шахтном электроприводе возможно в следующих системах [7]: асинхронный вентиляльно-машинный каскад (АВМК); асинхронный вентиляльный каскад (АВК); асинхронный двигатель в режиме двойного питания; тиристорный преобразователь частоты – асинхронный двигатель. Для привода вентилятора с большим диаметром рабочего колеса (более 3 м) преимущественно нашли применение электроприводы с АВМК [8]. Существенное преимущество каскадных схем в сравнении с другими схемами заключается в том, что преобразуемая электрическая мощность в них определяется диапазонами регулирования скорости. Поскольку для вентиляторов требуемая глубина регулирования частоты вращения обычно не превышает 1:2, то и величина преобразуемой мощности в каскадных схемах не превышает половины полной мощности привода [9].

На рисунке 2 изображена схема электропривода с АВК.

На этой схеме цепь статора АД подключена к трехфазной сети. При пуске электропривода ротор отключается от выпрямителя с помощью низковольтного коммутатора (КН) и подключается к пусковым сопротивлениям, как в обычной схеме пуска АД с фазным ротором. Когда скорость вращения вала АД станет номинальной, цепь ротора подключается к выпрямителю (ВП). Подключение к сети осуществляется с помощью высоковольтных коммутаторов (ВК1 и ВК2). Для преобразования постоянного тока в переменный ток применяется инвертор (И). С целью согласования напряжения ротора с сетью в схеме есть трансформатор (С). Сглаживание пульсаций выпрямленного тока осуществляется реакторами (Р). ЭДС инвертора является той дополнительной ЭДС,

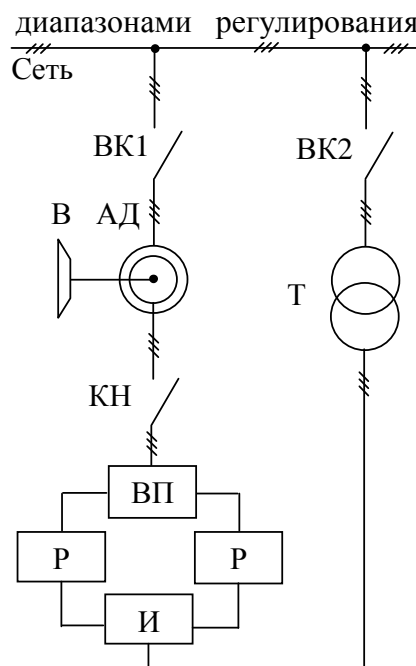


Рис. 2. Схема электропривода с АВК

которая вносится в цепь выпрямленного тока ротора АД. Регулирование ЭДС инвертора осуществляется изменением угла опережения открывания тиристорov. Вал АД вращает вентилятор (В). Принцип получения энергосбережения за счет привода заключается в следующем. Получаемая мощность скольжения с ротора АД через выпрямитель и инвертор поступает через трансформатор обратно в сеть. Управление ЭДС инвертора привода приводит к изменению потока энергии от ротора АД в сеть, вследствие чего изменяется угловая частота вращения вала АД. Так как вращающий момент АД пропорционален выпрямленному току ротора АД, то управлением ЭДС инвертора можно регулировать вращающий момент и частоту вращения вала АД. Если ЭДС инвертора уменьшается, то ток в цепи ротора увеличивается, результатом чего будет увеличение частоты вращения вала АД и момента.

При уменьшении ЭДС инвертора все происходит наоборот. По сравнению со стандартной схемой включения АД с фазным ротором, Результирующие потери электрической энергии системы с АВК в сравнении со схемой включения АД с фазным ротором, могут быть снижены до $\approx 20...30\%$ [10].

Заключение. Модернизация систем шахтной вентиляции с использованием современных электроприводов вентиляторов и другого высокоэффективного электрооборудования, а также реализация прогрессивных решений по воздухораспределению существенно повысят энергоэффективность вентиляционной системы.

Список литературы

1. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки. – М.: Недра, 1987. – 139 с.
2. Бабак Г.А., Бочаров К.П., Волохов А.Т. и др. Шахтные вентиляторные установки главного проветривания. Справочник. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
3. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 216 с.
4. Браславский И.Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.
5. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
6. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
7. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода. – СПб: Энергоатомиздат, 2001. – 496 с.
8. Абрамов Ф.А., Тянь Р.Б., Потемкин В.Я. Расчет вентиляционных сетей шахт и рудников. – М.: Недра, 1978. – 232 с.
9. Местер И.И., Засухин И.Н. Автоматизация контроля и регулирования рудничного проветривания. М.: Недра, 1974. – 240 с.
10. Гойхман В.М., Миновский Ю.П. Регулирование электропотребления и экономия электроэнергии на угольных шахтах. – М.: Недра, 1988. – 190 с.

References

1. Geyer V.G., Timoshenko G.M. Mine fan and water drainage installations. – M.: Nedra, 1987 – 139 p.
2. Babak G.A., Bocharov K.P., Volokhov A.T. and others. Mine ventilation unit of the main airing. – M.: Nedra, 1982. – 296 p.
3. Bulgakov A.A. Frequency control of asynchronous motors. – M.: Energoatomizdat, 1982. – 216 p.
4. Braslavsky I.Y. Asynchronous semiconductor electric drive with parametric control. – M.: Energoatomizdat, 1988. – 224 p.
5. Leznov B.S. Energy saving and adjustable drive in pumping and blower installations. – M.: Energoatomizdat, 2006. – 360 p.
6. Chilikin M.G., Sandler A.S. The general course of electric drive. – M.: Energoizdat, 1981. – 576 p.
7. Kovchin S.A., Sabinin Yu.A. Theory of electric drive. – S-Pb: Energoatomizdat, 2001. – 496 p.
8. Abramov F.A., Tian R.B., Potemkin V.Ya. Calculation of ventilation networks of mines and mines. – M.: Nedra, 1978. – 232 p.
9. Mester I.I., Zasukhin I.N. Automation of control and regulation of mine ventilation. M.: Nedra, 1974. – 240 p.
10. Goikhman V.M., Minovsky Yu.P. Regulation of power consumption and energy saving at coal mines. – M.: Nedra, 1988. – 190 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

<p>Матвеев Юрий Валентинович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Судовое электрооборудование» yuriy-radio@mail.ru</p>	<p>Matveev Yuri Valentinovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of Department “Ship electrical equipment”</p>
---	--

Получена 09.02.2023