

к.т.н. Калюжный С. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ВЕНТИЛЯТОРОВ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С МОМЕНТНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Обоснование целесообразности применения нового способа регулирования производительности вентиляторов главного проветривания угольных шахт, который заключается в стабилизации депрессии, создаваемой вентилятором с электроприводом, обладающим, "моментной" механической характеристикой.

Ключевые слова: электропривод вентиляторов главного проветривания, токопараметрический асинхронно-вентильный каскад, шахтная вентиляционная сеть, стабилизация депрессии.

Известно, что проветривание угольных шахт с помощью вентиляторов главного проветривания (ВГП), которые относятся к потребителям первой категории, является наиболее энергоемким технологическим процессом. Более 30% потребляемой шахтой электроэнергии приходится на их долю, а с учетом того, что мощность приводных двигателей ВГП составляет 1000 – 1600 кВт, а наиболее мощных установок – до 4000 кВт, проведение работ по модернизации электропривода (ЭП) вентиляторов имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение.

В процессе ведения горных работ режим проветривания шахты претерпевает изменения, обеспечивать его оптимизацию возможно путем применения системы автоматического регулирования параметров вентилятора. Это может быть реализовано наиболее эффективно только за счет плавного регулирования скорости вращения ротора приводного двигателя [1].

Целью настоящей статьи является обоснование целесообразности применения нового способа регулирования производительности ВГП угольных шахт, который заключается в стабилизации депрессии, создаваемой вентилятором с ЭП, обладающим крутопадающей, так называемой, «моментной» механической характеристикой. Указанный ЭП получил название *токопараметрический асинхронно-вентильный каскад (ТПАВК)* и подробно описан в [2]. Он является усовершен-

ствованием ЭП, построенного по традиционной схеме АВК, за счет введения в цепь постоянного тока инвертора ведомого сетью, высоконадежного параметрического источника тока (ПИТ) на базе LC-элементов с неуправляемым (диодным) выпрямителем на выходе.

На рисунке 1 приведена естественная механическая характеристика 1 двигателя, а также характеристика 2, которую будет иметь ЭП при питании от преобразователя, выполненного по схеме ТПАВК. Там же даны разные нагрузочные (вентиляционные) характеристики. Точки *a, b, c, d* являются рабочими для новой схемы ЭП.

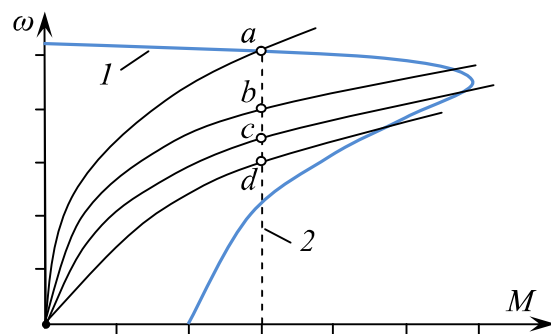


Рисунок 1 – Механические характеристики

Шахтная вентиляционная сеть (ШВС) представляет собой совокупность разветвленных горных выработок, в которых происходит течение воздуха. ВГП угольной шахты передает получаемую от двигателя механическую энергию потоку воздуха,

движущемуся в ШВС. В сети условно различают два вида потерь давления:

– *Потери на трение*, обусловленные плотностью воздушных масс, возникающие в результате обмена количеством движения при ламинарном или турбулентном течении соседних слоёв воздуха, движущихся с разными скоростями. Эти потери определяют для отдельных участков сети, по выражению

$$\Delta h_m = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{v^2}{2}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент потерь на трение, определяемый экспериментально или по полуэмпирическим формулам для установившихся равномерных течений и зависящий от числа Рейнольдса (Re^*); l – длина участка сети; d – приведенный диаметр воздушного потока; v , ρ – скорость потока и его плотность.

– *Местные потери давления* в элементах сети, составляющие основную долю суммарных потерь давления

$$\Delta h_m = \xi_m \rho \frac{v^2}{2}, \quad (2)$$

где ξ – безразмерный коэффициент местных потерь давления, который может определяться по методике В. С. Пака, Г. А. Бабака, Е. М. Левина и др. авторов.

В соответствии с приведенными уравнениями, потери давления, при достаточно больших числах Re^* (что справедливо для шахтных ВГП работающих с диффузорами), являются функцией квадрата скорости воздушного потока во всех сечениях сети

$$\Delta h = K_c Q^2, \quad (3)$$

где K_c – параметр ШВС, характеризующий при заданной производительности (Q) ВГП суммарные потери давления в сети, которые находятся по законам последовательно-параллельного соединения отдельных участков сети.

Параметр K_c называют ещё аэродинамическим сопротивлением вентиляционной сети. Уравнение (3) принято называть *характеристикой ШВС*, которая будет ис-

пользоваться далее для определения рабочего режима вентилятора (рисунок 2).

Особенностью ШВС является изменение её аэродинамического сопротивления в процессе эксплуатации шахты, зависящее от длины, поперечного сечения и числа горных выработок, шероховатости их стенок, типов сопряжений между собой. Кроме того при эксплуатации шахты изменяется расход воздуха Q , который не является постоянной величиной при добыче полезного ископаемого, а зависит от количества вредных газов в горных выработках, величины утечек воздуха между параллельными выработками и т. п.

Известно, что аэродинамическое сопротивление ШВС изменяется в 4 – 10 раз по отношению к первоначальному расчетному, с которым шахта начинает работать. Используя (1) и (2), согласно теории подобия, выводятся зависимости для перерасчета производительности Q , давления H и мощности P , потребляемой двигателем вентилятора из электрической сети, при разных диаметрах D_k рабочих колес, угловой скорости вращения ω и плотности ρ воздушной среды

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_{k1}}{D_{k2}} \right)^3 \frac{\omega_1}{\omega_2};$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_{k1}}{D_{k2}} \right)^2 \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 \frac{\rho_1}{\rho_2}, \quad (4)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_{k1}}{D_{k2}} \right)^5 \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^3 \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

Зависимость между величинами расхода воздуха и давления, если пренебречь естественной тягой, может быть представлена в виде кривых, характеризующих ШВС при определенных условиях эксплуатации с данным типом вентилятора (рисунок 2).

Так как для ВГП практически на всех шахтах Украины сейчас применяются системы нерегулируемого ЭП, то двигатель вентилятора потребляет, в большинстве случаев, заведомо избыточное количество электрической энергии.

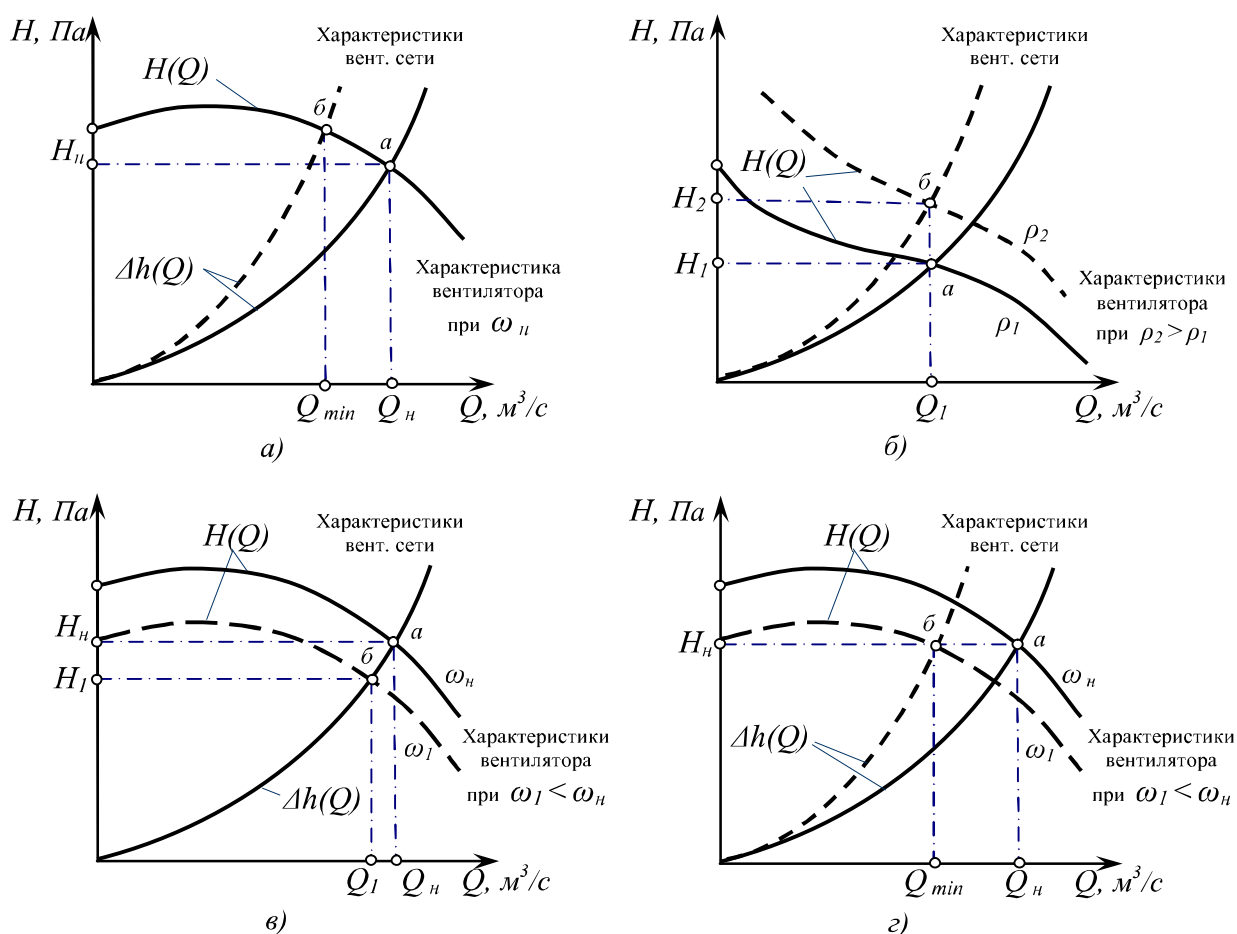


Рисунок 2 – К вопросу определения рабочего режима вентилятора:

a – при изменении характеристики вентиляционной сети; *б* – при изменении плотности воздушной среды; *в* – при изменении скорости вращения двигателя; *г* – при регулировании производительности с автоматическим поддержанием давления

Существует и другой аспект, который при нерегулируемом ЭП вентиляторов вышеуказанных систем вообще не может рассматриваться – это вопрос автоматического управления производительностью вентилятора в функции непрерывного поддержания ним необходимой депрессии воздушных масс в вентиляционном стволе шахты.

Кроме изменяющегося аэродинамического сопротивления на уровень депрессии оказывает влияние: температура наружного воздуха, поступающего в шахту (сезонные и суточные колебания), температура воздуха непосредственно на технологических и добычных участках шахты; газодинамические процессы при выемке угля и

других пород в том или ином забое; эффективность работы систем местной вентиляции и орошения добычных и проходческих участков шахты; корректность расчетов и применения различных вентиляционно-технических мероприятий.

Также необходимо не забывать, что режим проветривания шахты характеризуется непрерывными изменениями расходов воздуха, вызванными воздействием регулирующих устройств или производственными операциями (открыванием и закрыванием вентиляционных дверей, проездом вагонеток и поездов, движением угля в лавах на крутых пластах, движением машин в лавах, движением клетей и скипов в стволах и др.). Следовательно, ВГП шахты практически

постоянно работает в переходном аэродинамическом режиме и поэтому регулируемый ЭП с системой автоматического управления процессом проветривания шахты для него крайне необходим.

Рассмотрим подробно изменение рабочего режима вентилятора, установленного в сети с параболической характеристикой вида (3), при наличии возмущающих факторов указанных выше.

Увеличение сопротивления сети за счет снижения темпов ведения проходческих и очистных работ, приводит (рисунок 2, а) к уменьшению расхода воздуха через сеть на $\Delta Q = Q_n - Q_{\min}$, по отношению к номинальному режиму работы вентилятора. Уменьшение расхода воздуха зависит также от формы характеристики $H(Q)$ вентилятора, и будет максимальным на участках, близких к горизонтальным, где ВГП работает именно с максимальным КПД.

При изменении плотности перемещаемого ВГП воздуха (рисунок 2, б) имеем, что плотность воздуха при входе в вентилятор, в соответствии с уравнением состояния, как указывалось, может меняться при изменении давления, температуры или влажности. При постоянных значениях величин D_k и ω , производительность вентилятора не зависит, как следует из первой формулы системы уравнений (4), от плотности, а давление H , развиваемое вентилятором, и потребляемая им мощность P прямо пропорциональны плотности перемещаемого воздуха. С увеличением плотности в m раз, создаваемое вентилятором давление (при $Q = const$) возрастает в m раз. Сопротивление сети при этом же расходе воздуха также возрастает в m раз, следовательно, согласно (1) и (2) точка рабочего режима вентилятора сдвинется по вертикали (отрезок $a-b$ на рисунке 2, б). При этом производительность вентилятора и его КПД не изменятся, возрастет только создаваемое давление и потребляемая мощность.

При изменении скорости вращения двигателя и, соответственно, колеса вентилятора и неизменной характеристике сети

(рисунок 2, в) имеем следующий режим. В соответствии с (4), при постоянном диаметре D_k и плотности ρ воздушной среды с уменьшением скорости вращения ω в m раз производительность и давление вентилятора падают соответственно в m и m^2 раз. При этом точка, соответствующая рабочему режиму вентилятора, переместится вниз по параболе, совпадающей с характеристикой сети. В соответствии с законом подобия для вентиляционных машин (для малых изменений параметров), КПД вентилятора останется прежним, а давление H_1 на выходе вентилятора, а, следовательно, и депрессия воздушной среды в шахте, снизятся по отношению к заданному, например, номинальному значению. Последнее обстоятельство является нежелательным с точки зрения газовой безопасности, а также по условиям обеспечения комфортности работы людей в шахте.

Описанные три режима работы ВГП шахты имеют следующие недостатки по сравнению с номинальным режимом безопасной эксплуатации:

- при изменении конфигурации ШВС в сторону её сокращения, а также при увеличении плотности воздушной среды, возрастает давление создаваемое вентилятором и, как следствие, потребляемое двигателем количество электрической энергии;
- с целью снижения непроизводительных потерь электроэнергии, наиболее целесообразным является способ плавного регулирования скорости рабочего колеса вентилятора вниз от номинальной, который необходимо осуществлять при постоянном контроле депрессии воздушной среды с помощью специальных измерительных приборов (так делается сейчас, если есть возможность частотного регулирования скорости двигателя вентилятора).

Если подходить традиционно к вопросу реализации способа автоматического управления производительностью вентилятора, то для его осуществления необходимы мощные преобразователи (ABK или $ПЧ$), с помощью которых может регулироваться скорость приводного электродвигателя

теля (асинхронного или синхронного), а также нужны датчики давления и расхода воздуха с помехозащищенными линиями передачи информации. К сожалению, на сегодняшний день указанные выше преобразователи большой мощности, предлагаемые промышленностью, не обладают той надежностью в работе, которая необходима для потребителей первой категории – ВГП. Современные тиристорные и транзисторные преобразователи требуют наличия на шахте электротехнического обслуживающего персонала высокой квалификации, который не всегда имеется, кроме того, стоимость таких преобразователей, особенно при высоковольтном двигателе вентилятора, пока остается недоступной для большинства шахт.

В статье предлагается применить для ВГП «моментный» ЭП, позволяющий реализовать принципиально новый (менее энергоёмкий, более безопасный и полностью автоматизированный) способ проветривания горных выработок, в основе которого лежит концепция стабилизации депрессии.

Принимая во внимание известное соотношение для мощности P (кВт), на валу вентилятора и приравняв его к соотношению для мощности двигателя, имеем:

$$P = \frac{H \cdot Q}{\eta} 10^{-3} = M \cdot \omega; \quad (5)$$

где H – давление (напор) вентилятора, Па; Q – объемная производительность (подача), m^3/c ; η – КПД вентилятора и передачи; M – электромагнитный момент на валу двигателя, $kH \cdot m$; ω – скорость вращения двигателя, c^{-1} .

Из (4) и (5) следует, что в виду того, что между подачей ВГП и скоростью существует строгая пропорциональность, то давление будет находиться в такой же зависимости от момента, развиваемого приводным двигателем. Из сказанного вытекает, что в случае регулирования скорости двигателя при помощи преобразователя по схеме *ТПАВК*, позволяющего одновременно стабилизировать его электромагнитный момент (без наличия обратной связи по

току ротора), то вентилятор обеспечит на своем выходе неизменное давление воздуха. Указанный новый способ регулирования иллюстрирует рисунок 2,2). Вентилятор работает, например, в т. «а» и обеспечивает номинальную подачу Q_n воздуха с номинальным напором H_n при заданной характеристике ШВС.

При закрытии каких-то вентиляционных ляд или дверей возрастает сопротивление сети и вентилятор автоматически сам уменьшает подачу воздуха за счет снижения скорости двигателя до значения ω_1 (рабочий режим вентилятора без вмешательства обслуживающего персонала переходит в т. «б»). Изменение режима работы происходит строго по горизонтальному отрезку *а-б* при поддержании на номинальном уровне напора. Снижение скорости двигателя ВГП шахты даст значительную экономию электрической энергии, а также позволит увеличить ресурс работы подшипников, сальников и прочего механического оборудования вентилятора. Длительное снижение скорости вентилятора, без поступления команды на выполнение данной операции со стороны дежурного персонала, должно включить тревожный сигнал, указывающий на нестандартную ситуацию с вентиляцией в шахте. Указанная процедура важна с точки зрения пыле- и взрывобезопасности.

Можно предположить, что будет возможным, с какой-то степенью реализации (требующей экспериментальной проверки) ещё и следующий аспект безопасности. При внезапных выбросах угля и газа в шахте произойдет естественный «подпор» для движения свежей струи воздуха на определенном участке ШВС, поэтому должна кратковременно несколько снизиться депрессия, что равнозначно разгрузке ВГП, а это приведет, при «мягкой» (моментной, рисунок 1) механической характеристике ЭП и всасывающем способе проветривания шахты, к увеличению скорости рабочего колеса вентилятора. Последнее обстоятельство, несомненно, будет способствовать более быстрому удале-

нию из шахты выброшенных веществ, и, следовательно, вероятность возникновения опасной ситуации в шахте снижается.

Выводы и направление дальнейших исследований.

ЭП с моментной механической характеристикой по схеме *ТПАВК* позволяет получить для вентиляторов главного проветривания такие преимущества:

- обеспечивается полностью автоматическое регулирование скорости ЭП в функции поддержания постоянства момента на валу двигателя, а значит создаваемой депрессии;

- имеется возможность получения различных моментных механических характеристик, за счет подведения дополнительной энергии к ротору двигателя от *ПИТ* (например, при переключении отпаяк трансформатора на стороне сети);

- обеспечивается плавность пуска привода вентилятора и, как следствие, уменьшение нагрузок на механическое и электрическое оборудование ВГП и питающей, в большинстве случаев, высоковольтной сети;

- достигается энергосбережение при перепадах температуры и изменении сопротивления ШВС в автоматическом режиме и без наличия сложной системы управления преобразователем с разветвленной системой датчиков, в отличие от аналогичных других систем;

- имеется повышенная эксплуатационная надежность схемы ЭП за счет стабили-

зации тока ротора с помощью *ПИТ*, а не за счет изменения угла инвертирования, как это делается в традиционной схеме *АВК*.

Исследования [3] показывают, что ЭП по схеме *ТПАВК* для ВГП с двигателем мощностью 630 кВт позволяет сэкономить при температурных суточных перепадах около 175 тыс. кВт·ч или, примерно, 136 тыс. грн. за год, при работе на номинальную вентиляционную сеть. В случае технологических изменений ШВС в сторону уменьшения на 20%, возможно получение дополнительной годовой экономии в размере 278 тыс. кВт·ч. При увеличении установленной мощности двигателя ВГП, а также при более значительных сокращениях ШВС, указанная экономия возрастает в несколько раз.

Срок окупаемости ЭП по схеме *ТПАВК* не будет превышать один год, при наличии на поверхности шахты свободной мощности на стороне сети до 1000 В. Отдельный трансформатор с отпайками или *ПИТ* с отпайками достаточно просто и, главное, предельно надежно решают вопрос ступенчатого регулирования скорости ВГП в широком диапазоне при одновременной стабилизации депрессии. К сожалению, для вентиляторов на базе синхронных приводных двигателей, понадобится замена индуктора постоянного тока на фазный ротор, в таком случае срок окупаемости модернизации ЭП вентилятора возрастает.

Библиографический список

1. Концепция снижения энергопотребления стационарными установками угольных шахт / Е. А. Вареник, Н. А. Омельченко, А. А. Дубинский, Р. М. Лабезник // Уголь Украины. – Київ : Логос. – 2010. – № 1. – С. 7–20.
2. Снижение энергетических и эксплуатационных расходов стационарных установок / И. В. Волков, В. В. Калюжный, В. Н. Окалелов, С. В. Калюжный, А. М. Яценко, В. А. Корсун // Уголь Украины. – Київ : Логос. – 2010. – № 3. – С. 10–12.
3. Дюмин М. С. Энергетические показатели вентиляторов главного проветривания угольных шахт с электроприводом токопараметрического асинхронно-вентильного каскада / М. С. Дюмин, В. В. Калюжный // Сборник научных трудов студентов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск : ДонГТУ. – 2013. – Вып. 6, ч. 1. – С. 99–104.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Финкельштейн З. Л.

Статья поступила в редакцию 14.10.13

к. т. н. Калюжний С. В. (кафедра ГЕМ і О ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)

ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ВЕНТИЛЯТОРІВ ГОЛОВНОГО ПРОВІТРЮВАННЯ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЕЛЕКТРОПРИВОДА З МОМЕНТНОЮ МЕХАНІЧНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ

Обґрунтування доцільності застосування нового способу регулювання продуктивності вентиляторів головного провітрювання вугільних шахт, який полягає в стабілізації депресії, створеної вентилятором з електроприводом, який має, "моментну" механічну характеристику.

Ключові слова: електропривод вентиляторів головного провітрювання, струмопараметричний асинхронно-вентильний каскад, шахтна вентиляційна мережа, стабілізація депресії.

Ph.D. Kaluigniy S. V. (department of mining energomechanics and equipment DonSTU, Alchevsk, Ukraine)

THE USE FOR A MAIN FANS COAL MINE ELECTRIC DRIVE WHICH HAS "TORQUE" MECHANICAL CHARACTERISTICS

Justification advisability the use of a new method of adjustment the performance of main fans coal mines, which is to stabilize the depression created by a fan with electric drive which has "torque" mechanical characteristics.

Keywords: electric drive of main fans, current - parametric asynchronously-valve cascade, mine ventilation network, the stabilization of depression.