

Верещагин В.П., канд. техн. наук, **Верещагина Е.В.** (НИИГМ им. М.М.Федорова)

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ПРИ ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ

Запропонована методика розрахунку гранично досяжних і мінімально припустимих показників енергетичної ефективності поверхневих вентиляційних систем, необхідність у яких виникає під час енергетичного обстеження шахтних вентиляторних установок головного провітрювання.

Предлагается методика расчета предельно достижимых и минимально допустимых показателей энергетической эффективности поверхностных вентиляционных систем, необходимость в которых возникает при энергетическом обследовании шахтных вентиляторных установок главного проветривания.

Suggested the methodics of the calculation of the maximum and minimum acceptable values of the energetical effectiveness of the surface vent systems, when their necessity appears at the period of the energetical investigation of the mining fan installations of the main airing.

КС: шахтныя вентиляторныя установкы главного проветривания, энергетическая эффективность, обследование, предельно достижимые показатели, резерв экономии, методика.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Вентиляторные установки главного проветривания (ВУГП) являются одними из наиболее энергоемких стационарных установок шахт. Работая непрерывно, они расходуют миллионы киловатт-часов в год электроэнергии (ВУГП небольших типоразмеров (ВОД21М, ВЦ-25М) – порядка 2-3 млн. кВтч, а крупные (ВЦД-47,5У) – 25-30 млн. кВтч) или в среднем около 25% от общего расхода электроэнергии.

При энергетическом обследовании ВУГП обращает на себя внимание тот факт, что традиционные меры в области технического обслуживания и ремонта установок ограничиваются обеспечением их работоспособного состояния. Задача эффективного использования электроэнергии при эксплуатации ВУГП не входит в число основных направлений деятельности электромеханических служб шахт. Между тем расчеты показывают, что в результате осуществления эффективной программы организационно-технических мероприятий может быть получена значительная экономия электроэнергии. Однако выполнение таких программ часто сдерживается из-за отсутствия информации о структуре и величине потерь электроэнергии в установке, а также объективных методов оценки эффективности энергопотребления ВУГП.

Анализ последних достижений и публикаций. Согласно [1] энергетическая эффективность – это соотношение количества энергии на выходе процесса к количеству энергии на входе, а применительно к процессу проветривания шахты – это отношение мощности $N_{п}$, полезно используемой на проветривание горных выработок, к активной $N_{а}$, потребляемой электродвигателем вентилятора из сети.

$$\eta_{сп} = N_{п} / N_{а}. \quad (1)$$

Этот показатель отражает КПД системы проветривания, в которой преобразование энергии протекает по следующей схеме: электроэнергия, потребляемая электродвигателем из сети, преобразуется в механическую энергию ротора и далее с помощью рабочего колеса вентилятора

превращается в гидравлическую энергию воздушного потока, осуществляющую маслоперенос его по системе горных выработок.

Поскольку существуют технологические потери (неизбежные) и непроизводительные потери энергии в процессе её преобразования, определив с помощью (1) КПД системы проветривания, мы не можем ответить на ряд важных вопросов:

- является ли достигнутая эффективность оправданной,
- какие значения КПД для данной техники и технологии являются предельными,
- какие значения эффективности являются нормативными (научно обоснованными).

Кроме этого показателя для оценки энергетической эффективности процесса проветривания используют показатели энергозатратности, представляющие собой удельный расход мощности на перемещение единицы объема воздуха [2,3]:

$$n_1 = N_a/Q_v; \quad n_2 = N_a/Q_{ш}; \quad n_3 = N_a/Q_{п}, \quad (2)$$

где Q_v – подача вентилятора; $Q_{ш}$ – расход воздуха, поступающего из шахты; $Q_{п}$ – расход воздуха, полезно используемого на проветривание шахты (поступающего к горным выработкам).

Эти показатели могут использоваться при выборе наиболее эффективных режимов эксплуатации конкретной ВУГП, однако не учитывают условий её применения.

При проведении энергетического обследования ВУГП выполняется комплекс исследований, в состав которых входят:

- сбор данных об энергетических параметрах установки;
- анализ полученных данных, расчет фактических показателей эффективности;
- расчет предельно достижимых и минимально допустимых показателей эффективности;
- разработка комплекса организационно-технических мер и мероприятий, направленных на снижение объема энергопотребления.

Цель настоящей статьи – разработка методологии расчета предельно достижимых и минимально допустимых показателей эффективности энергопотребления.

Изложение основного материала. Представим полезно используемую на проветривание горных выработок мощность $N_{п}$ в виде

$$N_{п} = Q_{п} P_{п}, \quad (3)$$

где $P_{п}$ – депрессия шахтных выработок, соответствующая $Q_{п}$.

Вентиляционная сеть представляет собой очень сложную систему горных выработок со множеством соединений и разветвлений, сужений и расширений, утечек и перетечек воздуха, в связи с чем расход воздуха $Q_{п}$, необходимый для разбавления вредных примесей до допустимых концентраций, отличается от расчетного значения Q_r . Однако установить значение $Q_{п}$ при расчете показателей эффективности проблематично, поэтому полезную мощность целесообразно представить в виде

$$N_{п} = Q_r P_r, \quad (4)$$

где P_r – депрессия шахтных выработок, соответствующая Q_r .

Её можно определить из выражения

$$P_r = P_{ш} (Q_r/Q_{ш})^2, \quad (5)$$

где $P_{ш}$ – депрессия шахтных выработок, соответствующая фактическому общешахтному расходу воздуха $Q_{ш}$.

Потребляемую электродвигателем из сети активную мощность N_a можно представить через параметры вентилятора: подачу Q_v и депрессию P_v :

$$N_a = Q_v P_v / (\eta_v \eta_d), \quad (6)$$

где η_v и η_d – соответственно КПД вентилятора и электродвигателя.

Воспользовавшись (4)-(6), выражение (1) можно преобразовать к виду

$$\eta_{вс} = \eta_c \eta_a \eta_r \eta_v \eta_d, \quad (7)$$

где $\eta_c = Q_r^3 / Q_{ш}^3$ – КПД шахтной вентиляционной сети; $\eta_a = Q_{ш} / Q_v$, $\eta_r = P_{ш} / P_v$ – соответственно объемный и гидравлический КПД поверхностных вентиляционных сооружений.

Если предположить, что $Q_p = Q_{ш}$, то выражение (7) упростится, и из него можно получить критерий оценки эффективности энергопотребления поверхностной вентиляционной установки (вентиляторная установка совместно с поверхностными вентиляционными сооружениями):

$$\eta_{ву} = \eta_a \eta_p \eta_v \eta_d. \quad (8)$$

Как видно из (7), КПД $\eta_{вс}$ является объективным критерием оценки эффективности энергопотребления шахтной вентиляционной системы, поскольку учитывает все виды затрат энергии (гидравлические, объемные, механические и электрические) во всех элементах системы (вентиляторе, приводе, поверхностных вентиляционных сооружениях, вентиляционной сети).

Между двумя показателями эффективности энергопотребления ВУГП η и n существует взаимосвязь:

$$\eta = n^{-1} \cdot P_{ш}. \quad (9)$$

Оценка эффективности энергопотребления ВУГП производится по результатам сравнения достигнутого (фактического) и прогрессивного (нормативного) уровней энергоиспользования. С этой целью сравнивают фактический КПД вентиляционной установки η с его нормативным значением η_n .

Фактический КПД ВУГП определяется из выражения (1), в котором $N_{п} = P_{ш} Q_{ш}$ – используемая для проветривания шахтных выработок мощность, N_a – фактическая активная мощность, потребляемая электродвигателем из сети,

$$N_a = \sqrt{3} UI \cos\varphi, \quad (10)$$

где U и I – напряжение и ток статора электродвигателя; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности.

Для объективной оценки резервов экономии энергии важное значение имеет обоснованное определение достижимого для данной установки прогрессивного уровня энергоиспользования, по отношению к которому и должны определяться резервы.

Для определения нормативного значения КПД η_n воспользуемся выражением (9)

$$\eta_n = n^{-1}_n \cdot P_{ш}. \quad (11)$$

В [3] установлено, что n_n не является постоянной величиной, а зависит от эквивалентного отверстия шахтной вентиляционной сети $A_{ш}$, т.е. от формы, конфигурации, продольных и поперечных размеров горных выработок, состояния их поверхности, степени загроможденности вентиляционных каналов и т.д.

$$A_{ш} = 0,38 Q_{ш} \cdot P_{ш}^{-0,5}. \quad (12)$$

Для определения зависимости n_n от $A_{ш}$ собраны, систематизированы и обработаны данные о режимах эксплуатации более 200 вентиляторных установок шахт Украины, построен статистический ряд значений указанных величин, проведено его сглаживание. В качестве аппроксимирующей функции выбрана гипербола, уравнение которой имеет вид

$$n_n = 3,7 \cdot A_{ш}^{-0,5} + 3,4. \quad (13)$$

Выражение (13) характеризует средний реально достижимый уровень энергозатратности процесса проветривания и его целесообразно принять за нормативную базу. Выражение (13) представлено графически на рис. 1 (кривая а).

С помощью (13) можно определить нормативные технологически оправданные значения затрат мощности на подачу в шахту $1 \text{ м}^3/\text{с}$ воздуха. Для этого по значениям $Q_{ш}$ и $P_{ш}$ находим $A_{ш}$ и

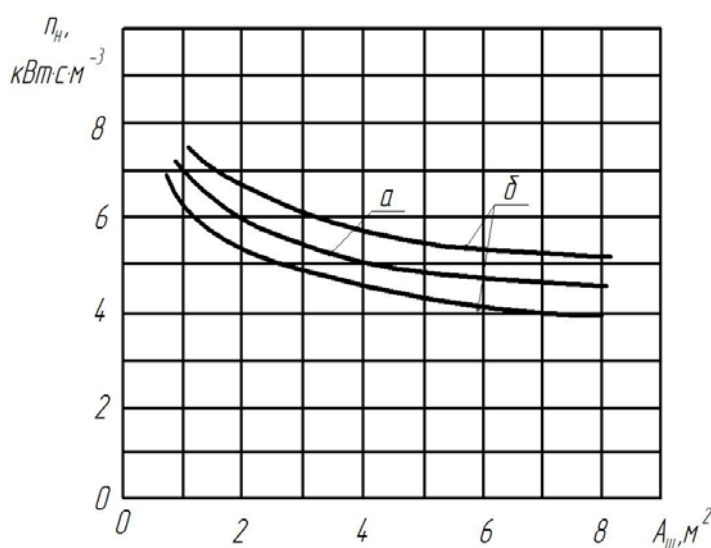


Рис. 1. Кривые регрессии, удельной мощности n_n по эквивалентному отверстию шахтной вентиляционной сети $A_{ш}$:
а – среднестатистическая зависимость;
б – базовая полоса значений n_n от $A_{ш}$

нормативное значение удельного расхода мощности n_n . Фактическое значение удельного расхода находим из выражения (2)

$$n = N_a / Q_{ш.}$$

С помощью (2) и (13) можно определить резервы экономии электроэнергии – превышение потребляемой установкой мощности над её среднестатистическим значением:

$$\Delta N = (n - n_n) Q_{ш.} \quad (14)$$

С помощью (13) можно также сформулировать стратегию поведения в процессе эксплуатации и технического обслуживания шахтных ВУГП. С этой целью на расстоянии двух среднеквадратичных отклонений на рис. 1 нанесены ещё две линии δ , образующие базовую полосу значений $n = f(A_{ш.})$. Если фактическое значение n находится выше базовой полосы, то для снижения объема энергопотребления ВУГП достаточно разработать организационно-технические мероприятия, для реализации которых, как правило, не требуются больших инвестиций. Дальнейшее повышение энергетической эффективности вентиляторных установок, у которых n находится ниже базовой полосы, как правило, не может быть достигнуто одними организационными мероприятиями, а требуется их модернизация с привлечением значительных инвестиций.

Предельно достижимую эффективность энергопотребления ВУГП можно определить с помощью (8), подставив максимально возможные значения входящих в него сомножителей.

Пример. Вентиляторная установка ВЦ-31,5М2 расположена в устье вентиляционного ствола шахты, снабженного клетевым подъемом. Тип привода – электродвигатель СДВС 15-64-10. Необходимо определить предельно достижимое значение показателя эффективности энергопотребления данной ВУГП. Находим значения сомножителей(8): $\eta_Q, \eta_p, \eta_v, \eta_d$:

$\eta_Q = Q_{ш.}/Q_v = 0,833$ ($Q_v = 1,2 Q_{ш.}$ из [4]); $\eta_p = 0,92$ [5]; $\eta_v = 0,86$ и $\eta_d = 0,953$ – максимальные паспортные значения КПД вентилятора и электродвигателя. После подстановки этих значений в (8) имеем:

$$\eta_{vy} = 0,833 \cdot 0,92 \cdot 0,86 \cdot 0,953 = 0,628.$$

Выводы. Разработана методика расчета предельно достижимых и минимально допустимых (нормативных) показателей энергетической эффективности ВУГП. КПД вентиляционной установки как показатель её энергетической эффективности представлен в виде произведений четырех показателей: гидравлического и объемного КПД поверхностных вентиляционных сооружений, КПД вентилятора и электродвигателя. В результате сравнения фактического и нормативного уровней энергоиспользования можно установить имеющийся резерв экономии электроэнергии при эксплуатации данной ВУГП.

Литература

1. Энергосбережение. Термины и определения: ГОСТ Р 53905-2010. – К.: Держстандарт, 2010.
2. Канталинский В.П. Повышение эффективности энергопотребления шахтных вентиляционных установок / В.П.Канталинский, В.П.Верещагин // Разработка месторождений полезных ископаемых: респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1989. – Вып. 82. – С. 24-27.
3. Верещагин В.П. О нормировании затрат электроэнергии при эксплуатации шахтных вентиляторных установок / В.П.Верещагин, Е.П.Король, В.Я.Олейник // Вопросы эксплуатации шахтных стационарных установок: сб. научн. тр. ВНИИГМ им. М.М.Фёдорова – 1985. – С. 200-204.
4. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт: Гос. нормат. акт об охране труда. – К., 1994. – 312 с.
5. Повышение эффективности энергопотребления действующих вентиляторных установок угольных шахт: РТМ 07.03.001-85. – Донецк, 1985.

*Статья рекомендована к публикации
канд. техн. наук Лободой В.В.*