

$$Ar = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1}; \quad Sh = \frac{\omega D^3}{Q}; \quad \Omega = \iint \left(\frac{r}{D}\right)^3 \sin \beta \, d\sigma;$$

$$S = \frac{G_2}{G}; \quad -S = \frac{G_1}{G}; \quad Q = \frac{G}{g(\rho_2 - (\rho_2 - \rho_1)\theta_1)};$$

где D - диаметр рабочего колеса; Q - производительность лопастной машины по гидросмеси. Первые два слагаемых выражения (7) составляют изменение момента количества движения гидросмеси на выходе из рабочего колеса и на входе в него. Это и есть теоретический напор насоса, перекачивающего гидросмесь, согласно [4,5]. Однако, из выражения (7) видно, что при этом не учитывается третье слагаемое, содержащее параметр Ω величина которого определяется конструктивными особенностями рабочего колеса, в частности формой лопаток и их количеством.

Одновременно третье слагаемое явным образом зависит от плотности твердых частиц и концентрации гидросмеси, а также от параметров Струхалия и величины скоростного напора насоса. Такая функциональная зависимость третьего слагаемого от характерных безразмерных параметров подтверждается основными результатами теории надежности и результатами исследования других авторов [7].

Таким образом, использование основного уравнения лопастных машин, полученного без учета эффектов в межполосном канале рабочего колеса, для расчета параметров насосов, перекачивающих гидросмесь, приводит к завышению величины теоретического напора. При этом, величина ошибки расчетов зависит от режима работы насоса, плотности перекачиваемой гидросмеси и транспортируемых частиц и не зависит явно от их крупности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зелепукин Н.П., Равинский Л.М., Харин А.И. Справочник гидромеханизатора. - Киев: Будівельник, 1968. - 342 с.
2. Справочник по проектированию рудных обогатительных фабрик: В 2 кн./ Редкол.: О.Н. Тихонов и др. - М.: Недра, 1988. - Кн. 2/ Г.И. Адамов, В.Ф. Баранов, Б.П. Бугусов и др. - 341 с.
3. Общие требования к проектированию, монтажу, эксплуатации и техническому обслуживанию насосных установок с грунтовыми насосами. - М.: ВНИИгидромаш, 1984. - 28 с.
4. Карелин В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. - М. - Л.: Машигиз, 1963. - 256с.
5. Животовский Л.С., Смойловская Л.А. Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы. - М.: Машиностроение, 1986. - 224 с.
6. Крыль С.И. Напорные взвеснесущие потоки. - Киев: Наукова думка, 1990. - 170 с.
7. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. - М.-Л.: Машиностроение, 1966. - 364 с.

УДК 622.87:622.861

Т.В. Пономаренко

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Сформульована задача вибору оптимальних параметрів гірничих виробок ШВС, яка відрізняється врахуванням різночасності проведення гірничих виробок і різного терміну їх існування у ШВС. Розроблений метод оптимізації параметрів гірничих виробок відрізняється використанням мультиграфа, що відображає послідовність базових розрахункових періодів,

врахуванням перерозподілу повітря у ШВС, зв'язаного із заміною перетину оптимізуємих виробок.

Задача определения оптимальных параметров ШВС при проектировании состоит в создании сети, способной обеспечивать объекты проветривания необходимым количеством воздуха в течение проектируемого периода при минимуме суммарных приведенных затрат и соблюдении Правил безопасности.

Особенностью задачи проектирования шахтных вентиляционных сетей является то, что их параметры не остаются постоянными, а существенно зависят от динамики горных работ. Динамика развития вентиляционной сети описывается мультиграфом $G(X, U)$, отражающим последовательность базовых расчетных состояний, соответствующим характерным моментам развития горных работ (сдача в эксплуатацию, освоение проектной мощности и т.д.). Топология мультиграфа $G(X, U)$ определяется следующим образом:

$$G(X, U) = \bigcup_{k=1}^{k=N} G_k(X_k, U_k, t_k)$$

где X - множество узлов, в котором узлы поверхности, предназначенные для подачи свежего воздуха имеют один и тот же номер; а узлы поверхности, предназначенные для отвода исходящего воздуха на поверхности имеют также один и тот же номер, отличный от "свежего" узла; U - непустое множество дуг; X_k, U_k - соответственно множества узлов и дуг существующих в k -том расчетном периоде; t_k - длительность k -того периода; $G_k(X_k, U_k, t_k)$ - граф, отображающий топологию k -того расчетного периода; N - количество базовых расчетных состояний в описании развития ШВС.

Следует отметить, что при переходе от одного условно постоянного состояния $G_{k-1}(X_{k-1}, U_{k-1}, t_{k-1})$ к другому $G_k(X_k, U_k, t_k)$ к графу сети добавляется подграф новых выработок $g_k'(X_k', U_k', t_k)$ и исключается подграф погашаемых выработок $g_k''(X_k'', U_k'', t_k)$

$$G_k(X_k, U_k, t_k) = G_{k-1}(X_{k-1}, U_{k-1}, t_{k-1}) \cup g_k'(X_k', U_k', t_k) \setminus g_k''(X_k'', U_k'', t_k)$$

где U_k', U_k'' - соответственно подмножества добавляемых и погашаемых ветвей ШВС; X_k', X_k'' - соответственно подмножества добавляемых и погашаемых узлов ШВС; t_{k-1}, t_k - соответственно длительность $k-1$ -того и k -того периода.

Критерием экономической эффективности варианта при решении технико-экономических задач, согласно действующим положениям, являются приведенные затраты на его создание. При продолжительном капитальном строительстве в угольной промышленности, когда сумма капитальных вложений распределяется во времени и изменяются с течением времени эксплуатационные расходы, необходимо приводить разновременные затраты к моменту сравнения на основе нормативного коэффициента.

Полные приведенные затраты Π за весь расчетный период определяются суммой приведенных затрат Π_k^{Π} (соответственно за k -тый расчетный период):

$$\Pi = E_n \sum_{k=1}^{k=N} \frac{K_k^{\phi}}{(1 + E_{n,n})^{a_k}} + \sum_{k=r}^{k=N} \frac{C_k^{\phi}}{(1 + E_{n,n})^{a_k}}, \quad (1)$$

где C_k^{ϕ} фактические эксплуатационные затраты за период между $k-1$ и k -тым расчетными периодами; K_k^{ϕ} - дополнительные капитальные вложения, необходимые для функционирования системы в k -том расчетном периоде, равные разности строительной стоимости системы $k-1$ и k -тых периодах; $E_{n,n}$, E_n - нормативные коэффициенты приведения разновременных затрат и эффективности капитальных вложений. Согласно действующей отраслевой методике $E_{n,n} = 0,08$, $E_n = 0,1$; a_k - показатель степени, равный промежутку времени между рассматриваемым расчетным состоянием и моментом сравнения вариантов в годах; N - количество расчетных периодов; r - момент ввода в эксплуатацию.

Строительная стоимость системы вентиляции для любого расчетного состояния равна сумме затрат на проведение выработок с сечением, большим минимально необходимого по транспорту, а эксплуатационные расходы представляют собой затраты на поддержание горных выработок и на проветривание шахты; при этом не учитывается стоимость вентиляционных сооружений, поскольку минимальное их количество определяется количеством обособленно проветриваемых потребителей, а, следовательно, затраты на их возведение являются примерно постоянными.

Задача определения оптимальных параметров ШВС при проектировании, динамика развития которой описывается мультиграфом $G(X, U)$ состоит в определении сечений горных выработок, обеспечивающих минимум суммы приведенных затрат (1) при ограничениях:

$$\sum_{i \in U_{l,k}} \text{sign}(Q_{i,k}) Q_{i,k} = 0, \quad l = 1 + m_k, \quad k = 1 + N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in U_{\mu,k}} \text{sign}(Q_{i,k}) R_{i,k} Q_{i,k}^2 + \sum_{i \in U_{\mu,k}} H_{i,k}^b = 0, \quad (3)$$

$$\mu = 1 + n_k - m_k + 1, \quad k = 1 + N$$

$$Q_{i,k} = \text{const}, \quad i \in U_{o,k}, \quad k = 1 + N \quad (4)$$

$$v_{i,k} \leq v_{i,k}^{\max}, \quad i \in U_k, \quad k = 1 + N \quad (5)$$

$$S_{i,j}^{\min} \leq S_{i,j} \leq S_{i,j}^{\max}, \quad i \in U_{x,k}, \quad j = 1 + f \quad (6)$$

$$S_{i,j} \in \{S_1, S_1, \dots, S_f\}, \quad i \in U_{x,k}, \quad j = 1 + f \quad (7)$$

$$H_{i,k}^b = a_i - b_i Q_{i,k}^b, \quad i \in U_{b,k}, \quad a_i^{\min} \leq a_i \leq a_i^{\max}, \quad (8)$$

$$k = 1 - N$$

$$H_{i,k}^b \leq H_{\text{норм}}, \quad i \in U_{b,k}, \quad k = 1 \div N \quad (9)$$

$$R_{i,k} = \frac{\alpha_{i,k} L_{i,k}^d}{S_{i,k}^{2,5}}, \quad i \in U_{x,k}, \quad k = 1 \div N \quad (10)$$

$$R_{i,k} \leq R_{i,k} + \Delta R_{i,k} \leq R_{i,k}^{\text{max}}, \quad i \in U_{DR,k}, \quad k = 1 \div N \quad (11)$$

где $U_{l,k}$ - множество ветвей, инцидентных l -тому узлу в k -том периоде; $U_{\mu,k}$ - множество ветвей, принадлежащих μ -тому независимому контуру в k -том периоде; $U_{x,k}$ - подмножество ветвей множества с оптимизируемыми сечениями в k -том расчетном периоде; $U_{o,k}$ - множество объектов проветривания k -том периоде; $U_{DR,k}$ - множество регулируемых ветвей воздухоподающей и отводящей подсетей в k -том периоде; n_k - количество узлов в ШВС в k -том периоде; m_k - количество ветвей в k -том периоде; f - количество сечений в типовом ряду; $H_{\text{норм}}$ - ограничение на величину максимальной депрессии шахты, для угольных шахт $H_{\text{норм}} = 300$ Па, для сверхкатегорных по газу шахт $H_{\text{норм}} = 450$ Па; $l_{i,k}^d$ - длина i -той выработки в k -том расчетном периоде при расчете депрессии; $v_{i,k}$, $v_{i,k}^{\text{max}}$ - соответственно расчетная и максимально возможная скорость воздуха в i -той выработке в k -том периоде; $\alpha_{i,k}$ - коэффициент аэродинамического сопротивления i -той выработки в k -том периоде; $Q_{i,k}$, $R_{i,k}$, $H_{i,k}$ - соответственно расход воздуха, аэродинамическое сопротивление и депрессия i -той ветви в k -том периоде; $\Delta R_{i,k}$, $R_{i,k}^{\text{max}}$ - соответственно аэродинамическое сопротивление регулирующего устройства, установленного в i -той выработке в k -том периоде и максимально возможное сопротивление этой выработки (определяется типом установленного в ней регулятора); a , b - коэффициенты в характеристиках i -того источника тяги; a_i^{min} , a_i^{max} - границы изменения коэффициента a i -того вентилятора.

Функция цели (1) зависит как от дискретных переменных (сечения выработок) так и от непрерывных переменных - подачи и напора ВГП. Взаимосвязь между расходами воздуха в ветвях ШВС и их аэродинамическими сопротивлениями описывается системой сетевых уравнений (2), (3). Требуемая величина расходов воздуха в объектах проветривания определяется равенством (4). Ограничение на максимальную скорость воздуха в выработке описывается неравенством (5). Сечения этих выработок задаются дискретным типовым рядом (7). Максимальное сечение в типовом ряду выработки $S_{i,j}^{\text{max}}$ определяется возможностями проходческой техники, а минимальное $S_{i,j}^{\text{min}}$ - размерами транспортных средств (6). В данной работе в ходе предложено рабочую область вентилятора описывать семейством характеристик (8). Такое представление рабочей области вентилятора позволило существенно упростить итерационный процесс выбора оптимальной депрессии ВГП, т.к. переход между характеристиками вентилятора изменением только одного аппроксимационного коэффициента a_i , этом коэффициент b_i остается неизменным. Переход к реальным характеристикам выполняется по окончанию расчетов. Величина общешахтной

депрессии ограничена Правилами технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт, что нашло отражение в неравенстве (9). Ограничение на минимальную и максимальную величину аэродинамического сопротивления выработки определяется типом установленного в ней вентиляционного сооружения (11).

Данная задача относится к классу невыпуклых задач нелинейного программирования. Для ее решения в диссертационной работе при ограничениях предлагается сетевой метод, основная идея которого заключается в последовательном расширении сечений выработок; на каждом шаге увеличивается сечение той выработки, расширение сечения которой обеспечивает наибольшее снижение депрессии критических маршрутов во всех расчетных периодах при наименьшем увеличении затрат на проведение и поддержание выработки. Потокораспределение в ШВС для каждого расчетного периода определяется независимо, а сечения выработок, существующих в нескольких расчетных периодах, являются одинаковыми

Уравнения (3) преобразуются в уравнения двух видов (12), (13):

$$\Delta H_{l,k} = \sum_{i \in U_{l,k}} R_{i,k} Q_{i,k}^2 - \sum_{i \in U_{l,k}} H_{i,k}^b, \quad l_k = 1 - o_k \quad (12)$$

$$\sum_{i \in U_{z,k}} \text{sign}(Q_{i,k}) R_{i,k} Q_{i,k}^2 - \sum_{i \in U_{z,k}} H_{i,k}^b = 0, \quad z_k = 1 - n_k - o_k + 1 \quad (13)$$

где $U_{l,k}$ - множество ветвей, образующих контур l -того потребителя в k -том периоде; $\Delta H_{l,k}$ - депрессия базового регулятора, установленного в l -том потребителе в k -том периоде; величина $\Delta H_{l,k}$ обратно пропорциональна степени трудности проветривания l -того потребителя в k -том периоде и с изменением характеристик воздухоподающих выработок изменяется; $U_{z,k}$ - множество ветвей, образующий k -тый независимый контур, построенный на базе с нефиксированным расходом воздуха.

Уравнения баланса расходов воздуха в узлах (3) и равенства (4), определяющие заданные значения расходов воздуха в ряде ветвей сети, преобразуются следующим образом:

$$\sum_{i \in U_{\beta,k}} \text{sign}(Q_{i,k}) Q_{i,k} = Q_{\beta,k}, \quad \beta = 1 - \bar{o}, \quad k = 1 - N \quad (14)$$

$$\sum_{i \in U_{\alpha,k}} \text{sign}(Q_{i,k}) Q_{i,k} = 0, \quad \alpha = 1 - m_k - \bar{o}, \quad k = 1 - N \quad (15)$$

где $U_{\beta,k}$ - множества ветвей, инцидентных β -тому узлу в k -том периоде, этим узлом является начальный или конечный узел l -того потребителя; $U_{\alpha,k}$ - множество ветвей, инцидентных α -тому узлу в k -том периоде, $U_{l,k}$ - расход воздуха, в l -том потребителе в k -том периоде; o_k - количество узлов, инцидентных потребителям ШВС в k -том периоде

Для множества подграфов $G_k (X_k, U_k, t_k)$, $k=1 \div N$ определяется базовое решение оптимизационной задачи. Под базовым решением понимается решение сетевых уравнений (3.49)-(3.52), при котором сечения выработок приняты минимально возможными $S_i = S_i^{min}$, $i \in U_x$, депрессии всех базовых регуляторов положительны и депрессия хотя бы одного из них равна нулю - т.е. в сети присутствует маршрут без регулятора.

При поиске базового решения независимой переменной является напор вентилятора (коэффициент a его характеристики), зависимыми (контролируемыми) переменными - депрессии базовых регуляторов. Это решение определяется в системе координат $\{\Delta H_{i,k}^*, a\}$ методом хорд, где $\Delta H_{i,k}^*$ - минимальная депрессия базового регулятора, определяемая по формуле:

$$\Delta H_{i,k}^* = \min\{\Delta H_{m,k}\}; m=1-o.$$

На втором этапе решения оптимизационной задачи для графа $G_k (X_k, U_k)$ определяется решение задачи оптимизации потокораспределения в ШВС методом, при этом для каждого расчетного состояния определяется уровень минимальной депрессии, необходимый для обеспечения необходимым количеством воздуха объектов проветривания. На данном этапе снижение уровня шахтной депрессии выполняется отрицательным регулированием - увеличением аэродинамического сопротивления выработок. Если по окончании решения задачи определения оптимального потокораспределения нарушаются условия (8) и (9). Увеличение сечений выработок выполняется последовательно до тех пор, пока депрессия шахты во всех расчетных периодах не достигнет нормированного уровня (ограничение (9)).

УДК 553.94:622.33

В.В. Ишков

ОСНОВЫ ПРОГНОЗА ЗАСОРЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЗОЛЬНОСТИ УГЛЕЙ ДОНБАССА

Розглянуто питання формування експлуатаційної зольності вугілля. Аналіз отриманих результатів дозволив встановити чотири літолого-структурних типи покрівлі за фактором засмічуваності. Викладені основи прогнозу експлуатаційної зольності вугілля Донбасу.

В углях содержится определенное количество минеральных примесей, во многом определяющих особенности их обогащения и частично образующих после сжигания золу. Зольность добываемой угольной массы формируется в результате взаимодействия геологических факторов с технологическими. К основным геологическим факторам, определяющим эксплуатационную зольность, относятся: петрографический состав угля, тип минерализации, строение пласта, степень метаморфизма угля, условия залегания пласта и устойчивость его непосредственной кровли и почвы.

Мощность угольных пластов и пластовая зольность являются первичными геологическими факторами, на которые накладываются факторы определяю-