

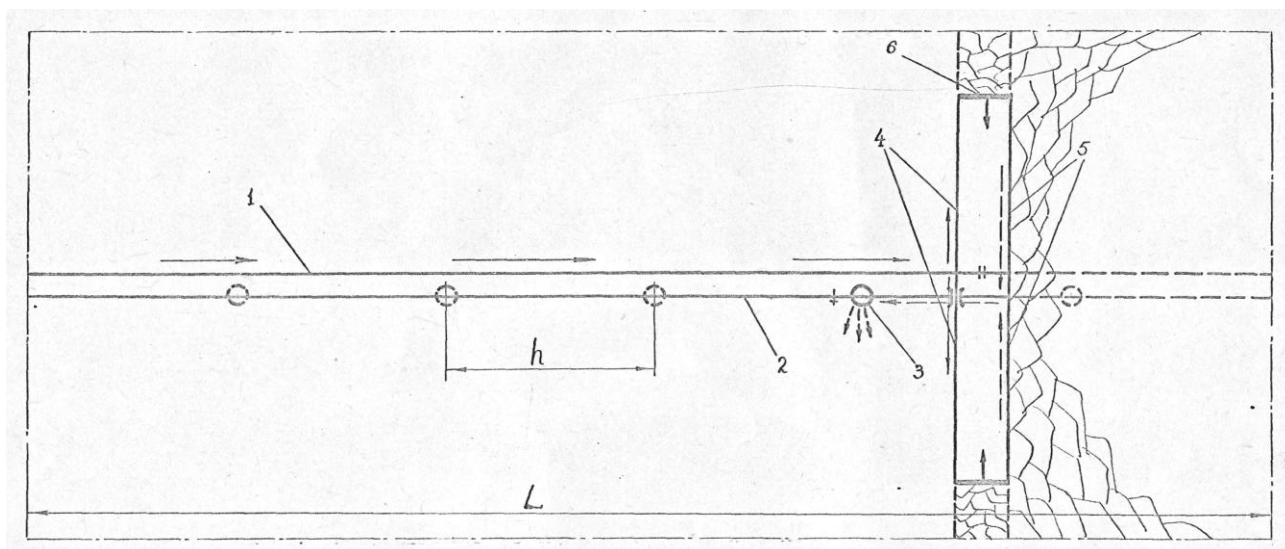
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ
МАРГАНЦЕВЫХ ШАХТ**

У статті розглядається актуальне питання визначення параметрів схем провітрювання марганцевих шахт. В результаті розв'язання математичної задачі оптимізації, отримані залежності для визначення оптимальних параметрів діаметру свердловин та відстаней між ними.

**DEFINING THE PARAMETERS SCHEMES OF VENTILATION FOR
MANGANESE MINES**

The question of defining the parameters schemes of ventilation for manganese mines is considered in the article. As a result of solving a mathematical problem of optimization, dependences for determine optimal parameters of holes diameter and the distances between them are obtained.

В условиях высокой концентрации очистных работ и значительных размеров шахтных полей становится экономически целесообразным вскрытие фланговых участков последовательно проводимыми вентиляционными стволами или скважинами. Последовательная проходка вентиляционных стволов в районе концентрации очистных работ позволяет осуществить схему проветривания с учетом динамики развития горных работ (рис. 1). При этом достигается значительное сокращение длины пути вентиляционной струи, повышение надежности схемы и уменьшение утечек воздуха. По мере подвигания горных работ вентиляционные стволы погашаются, а взамен их проводятся новые.



1 - откаточный штрек; 2 - главный конвейерный штрек; 3 - скважина;
4 - вентиляционный штрек; 5 - конвейерный штрек; 6 - лава.

Рис.1 - Схема проветривания марганцевых шахт

Математически задача оптимизации схем проветривания с вентиляцион-

ными стволами или скважинами, сооружаемыми и используемыми для вывода исходящей струи по мере подвигания горных работ, представлена в виде стоимостного функционала:

$$\Phi = \sum_{j=1}^n K_j + \sum_{i=1}^m C_{i_{г.в.}} + \sum_{j=1}^n C_{jc} \rightarrow \min \quad (1)$$

где K_j – капитальные затраты на сооружение очередной j -й вентиляционной скважины или ствола для вывода исходящей струи воздуха; $C_{i_{г.в.}}$ – затраты на перемещение воздушного потока по горизонтальным горным выработкам при выемке i -го столба; C_{jc} – затраты на перемещение, воздушного потока по j -й скважине или стволу; m – количество выемочных столбов; n – количество вентиляционных стволов или скважин, необходимых для вывода исходящей струи воздуха за период отработки шахтного поля.

Затраты на сооружение j -й скважины определяются в соответствии с [3]. Учитывая то обстоятельство, что пласт марганцевой руды залегает горизонтально, а поверхность шахтного поля представляет собой, как правило, равнину, длина всех вентиляционных скважин постоянна. Следовательно, затраты на сооружение каждой скважины, при равных их диаметрах - одинаковы. Выражая количество вентиляционных скважин n через длину шахтного поля L и шаг переноса (расстояние между скважинами) h , а также учитывая, что количество скважин не может быть дробным числом, получаем:

$$\sum_{j=1}^n K_j = 190dl_c \left(\left[\frac{L}{h} \right] + 1 \right) \quad (2)$$

где: d – диаметр скважины, м; l_c – длина скважины, м.

Скобки в выражении (2) обозначают выделение целой части дроби.

Рассмотрим структуру затрат на перемещение воздушного потока по горизонтальным горным выработкам.

При выемке i -го выемочного столба, воздушный поток перемещается по магистральной вентиляционной выработке. При этом затраты определяются в соответствии с выражением:

$$C_{i_{г.в.}} = kQ^3 T_i r_E l_{iв} \quad (3)$$

где $l_{iв}$ – длина пути движения воздуха по магистральному вентиляционному штреку при выемке i -го столба, м; T – период отработки i -го столба.

$$l_{iв} = L - il_{л} \quad (4)$$

где $l_{л}$ – длина лавы выемочного столба, м.

Далее, воздушный поток, омывает лаву и примыкающие к ней конвейер-

ный и вентиляционный штреки. Затраты определяются из выражения:

$$C_{i_{в.у.}} = kQ_n^3 T_i (r_{в} l_{ст} + r_k l_{ст} + r_n l_n) \quad (5)$$

где $l_{ст}$ и l_n - длина выемочного столба и лавы, м; r_n - удельное аэродинамическое сопротивление лавы.

Исходящая струя воздуха после выемочного участка перемещается по конвейерному магистральному штреку до вентиляционной скважины. Затраты определяются из выражения:

$$C_{i_k} = kQ^3 T_i r_k l_{ik} \quad (6)$$

где l_{ik} - длина пути движения воздуха по конвейерному магистральному штреку до скважины при выемке i -го столба, м.

$$l_{i_k} = n_i h - (i - 1) l_n \quad (7)$$

Выражая количество скважин n через шаг переноса $\frac{L}{h}$, учитывая и выделяя целую часть дроби, получим:

$$l_{i_k} = \left(\left(\left[\frac{(i-1)l_n}{h} \right] + 1 \right) h - (i-1)l_n \right) \quad (8)$$

Затраты на перемещение воздуха по j -й скважине:

$$C_{j_c} = \frac{6,5kQ^3 T_j \alpha_c l_c}{d^5} \quad (9)$$

где T_j - период проветривания через j -ю скважину:

$$T_j = \frac{T}{h} = \frac{Th}{L+h} \quad (10)$$

С учетом (10), получим:

$$C_{j_c} = \frac{6,5kQ^3 \alpha_c Th}{d^5(L+h)} \quad (11)$$

При последовательном проветривании через n скважин, с учетом видоизмененной (без ущерба для точности) формулы Прандтля - Никурадзе

$$d_{1c} = 0,02 / (\ln^2 + 233d) \quad (12)$$

и того, что получим:

$$C_c = \frac{6,5kQ^3 T l_c}{d^5 \ln^2 1233d} \quad (13)$$

Из выражения (13) видно, что затраты на перемещение, воздуха по скважинам за время T от количества скважин n или их шага переноса h не зависит. Длина выемочного столба при отработке шахтного поля, как правило, мало изменяется, поэтому затраты на перемещение воздуха по выемочному участку являются величиной постоянной, а следовательно, при минимизации функции цели (1) могут не учитываться.

Таким образом, на основании (2), (3), (6), (13) и с учетом (4) и (8) функционал (1) примет вид:

$$\Phi = 190dl_c \left(\left\lfloor \frac{L}{h} \right\rfloor + 1 \right) + kQ^3 \frac{T}{m} \sum_{i=1}^m \left(r_b(L - il_n) + r_k \left(\left(\left\lfloor \frac{(i-1)l_n}{h} \right\rfloor + 1 \right) h - (i-1)l_n \right) \right) + \frac{0,13kQ^3 T l_c}{d^5 \ln^2 1233d}; \quad (14)$$

Если для вывода исходящей струи воздуха используется вентиляционный ствол, то в функции цели изменится первый член, который равен:

$$\sum_{j=1}^n k_j = (212,6 + 367,1D)l_c \left(\left\lfloor \frac{L}{h} \right\rfloor + 1 \right) \quad (15)$$

Полученная модель является динамической, так как она отражает динамику процесса перевода вентиляции со скважины на скважину или ствол (число скважин целое, учтен дискретный характер переноса скважин). Однако, выражение (14) не является непрерывной функцией, поэтому методы классического анализа экстремальных точек, при отыскании значений d и h не применимы. Поэтому модель реализуется численным методом.

При определении оптимальных параметров решается две задачи на отыскание собственных значений d и h . Прежде чем начинать расчеты необходимо выбрать диапазон и шаг варьирования. Далее, варьируя параметры, подбирают их так, чтобы функционал принимал минимальные значения. Соответствующие значения параметров и будут оптимальными.

Для нахождения с достаточной степенью точности экстремальных точек, успешно применяются методы теории планирования экспериментов, которые позволяют экспериментальным путем получить аналитические выражения, описывающие, зависимость каждого из выходных параметров от входных [1, 2, 5].

В нашем случае проведение, реального эксперимента невозможно, так как это потребовало бы больших материальных затрат и много времени для сбора информации. Поэтому реальный, эксперимент заменен вычислительным, цель которого получение точек поверхности отклика.

Вычислительный эксперимент как метод исследования с успехом применяется во многих отраслях науки и техники [4,6]. Особенно широкое распространение этот метод исследования получил с развитием электронных вычислительных машин.

Применив методы теории планирования экспериментов, рассматривая при этом математическую модель (14) как объект управления с входными параметрами L, l, r, Q, T и выходными параметрами d, h , можно найти выражения, описывающие зависимость изменения значений выходных параметров от входных в виде алгебраических уравнений. То есть, в данном случае многофакторная экстремальная задача формируется следующим образом: необходимо получить некоторое представление о функции отклика

$$\begin{aligned} h &= f(L, l, r, Q, T, d) \\ d &= f(L, l, r, Q, T, h) \end{aligned} \quad (16)$$

где d и h — параметры подлежащие, оптимизации; L, l, r, Q и T - независимые переменные (факторы), которые можно варьировать при постановке вычислительного эксперимента. Исходя из физических соображений, можно утверждать, что варьируемые факторы являются независимыми, поэтому рандомизация при планировании эксперимента не выполнялась. Варьирование входных параметров производилось на двух уровнях с интервалом, охватывающим зону промышленного использования значений этих параметров (таблица 1).

Таблица 1 - Значения входных параметров и интервалы их варьирования

Параметры	Уровни			Интервалы варьирования, ΔX_i
	+ 1	X_{i0}	- 1	
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	65	45	25	20
$T, \text{ лет}$	40	25	10	15
$L, \text{ м}$	5000	3000	1000	2000
$l, \text{ м}$	120	80	40	40
$r, \text{ км}$	$14 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$
$d, \text{ м}$	4,0	2,3	0,6	1,7
$h, \text{ м}$	1000	550	100	450

Чтобы исчерпать все возможные комбинации шести факторов, варьируемых на двух уровнях, необходимо было поставить шестьдесят четыре опыта для зависимости определяющей d и столько же опытов – для h . По составленной программе производились вычислительные работы, в процессе которых производилась выборка значений d и h соответствующих минимальным значениям полученных суммарных затрат. Полагая, что в заданном интервале варьирования переменных процесс может быть описан линейной моделью, используем метод наименьших квадратов для определения коэффициентов регрессии. Выборка точек поверхности отклика аппроксимировалась регрес-

сионными уравнениями, которые проверялись на адекватность по критерию Фишера. Для упрощения расчетов, нелинейные члены полученных уравнений регрессии отброшены по причине малости их влияния на выходные параметры. Полученная приведенная регрессионная система уравнений в натуральных значениях переменных имеет вид:

$$\begin{aligned} h &= 1004 - 18,6Q - 10,21T + 0,25L + 3,28l - 3801666r + 132,4d \\ d &= 0,613 + 0,019Q + 0,01T - 6,25 \cdot 10^{-5}L - 9,38 \cdot 10^{-4}l - 521,7r + 5,97 \cdot 10^{-4}h \end{aligned} \quad (17)$$

В результате решения системы уравнений (17), получены зависимости для определения оптимальных параметров d и h в более простой форме для использования при инженерных расчетах:

$$h = 1002 - 17,46Q - 9,64T + 0,26L + 3,43l - 4202729r \quad (18)$$

$$d = 1,315 + 0,0068Q + 0,0043T + 9,3 \cdot 10^{-5}L + 9,8 \cdot 10^{-4}l - 3029,9r \quad (19)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента. - М.: Наука, 1969.- 157 с.
2. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование, экспериментов при поиске оптимальных условий. - Наука, 1976. - 279 с.
3. К вопросу установления оптимального диаметра вентиляционных скважин для шахт Никопольского марганцевого бассейна / А. Ф. Милетич, В. А. Пилюк, В.П. Логвинов и др. - В кн.: Марганец. Добыча, обогащение, переработка. №4(33) Тбилиси, 1972, С. 49.- 53.
4. Козлов Н.И. Организация вычислительных работ. - М.: Наука, 1981. - 237 с.
5. Налимов В. В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. - М.: Наука, 1965. - 340с.
6. Самарский А. А. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент. - В кн.: Вестник АН СССР, М., 1975, №5, С. 150.