*Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXI, вып. 1, 1972 г.*

# ОСНОВЫ МЕТОДИКИ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ОПУСКАНИЙ КРОВЛИ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ

*М. А. Борисова*

Неуклонное возрастание добычи угля и переход к разработке новых месторождений со все более сложными условиями залегания делает проблемы контроля за проявлениями горного давления и прогноза поведения кровли в очистных выработках шахт первостепенной задачей, которая пока не нашла своего разрешения. Это обусловлено рядом причин, в частности, недостаточной изученностью процессов горного давления, отсутствием методики систематического прогноза на базе контрольных замеров состояния массива.

В качестве основы методики прогноза поведения кровли в очистных забоях предлагается сравнение измеренных опусканий кровли по профильным линиям со значениями, вычисленными для данных условий теоретически, а также с предельными величинами опусканий, полученными экспериментально при предыдущих циклах разработки.

Для решения данной проблемы прежде всего необходимо определить методику расчета опусканий кровли. Исследования показывают, что наиболее отвечает этим целям теория тонких плит [2]. Пределы отношений, при которых плита может считаться тонкой, определяются отношением $\frac{h}{b} \leqslant \frac{1}{5}$, где $h$ — толщина плиты, $b$ — наименьший размер плиты. Тонкие плиты характеризуются тем, что деформации изгиба не сопровождаются растяжением их серединной плоскости [4].

Дифференциальное уравнение упругой поверхности тонкой плиты

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial y^2 \partial x^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D}, \qquad (1)$$

где $w$ — прогиб плиты; $q$ — равномерно распределенная нагрузка; $D$ — жесткость плиты при изгибе; $x$, $y$ — текущие координаты плиты.

Жесткость плиты

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}, \qquad (2)$$

где $E$ — модуль продольной упругости; $h$ — толщина плиты; $\mu$ — коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации).

Для плиты с защемленными краями граничные условия выразятся следующим образом: 1) прогиб плиты на контуре должен быть равен нулю ($w=0$); 2) срединная изогнутая поверхность должна оставаться

горизонтальной, т. е. угол ее поворота у опоры должен быть равен нулю $\left(\frac{\partial w}{\partial n}=0\right)$ Для прямоугольной плиты, защемленной по контуру и нагруженной равномерно распределенной нагрузкой, имеется несколько решений, однако для рассматриваемого случая решение в конечной форме не найдено.

Для максимального прогиба в центре плиты И. Г Бубновым [3] получена формула

$$w_{01}=\alpha\left(\frac{a}{b}\right)\left(1-\mu^2\right)\frac{qb_1^4}{Eh^3}, \tag{3}$$

где $\alpha\left(\frac{a}{b}\right)$ — функция от соотношения $a/b$, задается таблицей [2, стр. 178]; $b/2=b_1$ — половина наименьшего из размеров обнажения плиты; $a/2=a_1$ — половина наибольшего из размеров обнажения плиты.

Имеются, однако, полученные в конечном виде решения для плит, защемленных по круглому или эллиптическому контуру. Эти решения могут быть использованы при расчетах, так как на практике первое обрушение при горизонтальном залегании пород в общем случае имеет овальную форму, близкую к эллиптической, по углам контура обрушения наблюдается зависание пород [2].

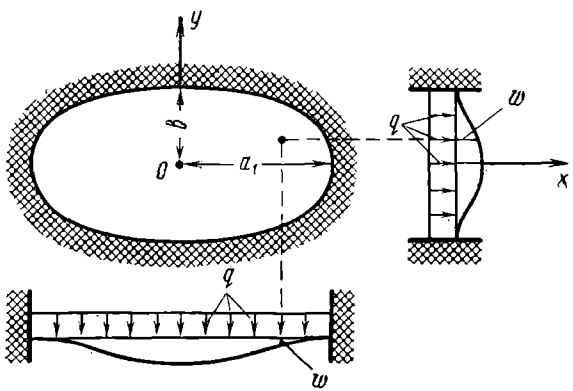



Рис. 1. Расчетная схема эллиптической плиты, защемленной по всему контуру

На рис. 1 представлена расчетная схема эллиптической плиты, защемленной по всему контуру и загруженной равномерно распределенной нагрузкой $q(x, y)$. Расчет по данной схеме приводится Н. И. Безуховым [1]. Решение для максимального прогиба в центре эллиптической плиты имеет вид

$$w_{02}=\frac{3}{2}\cdot\frac{1}{\frac{a}{a_1^4}+\frac{3}{b_1^4}+\frac{2}{a_1^2b_1^2}}\left(1-\mu^2\right)\frac{q}{Eh^3} \tag{4}$$

Тогда уравнение прогиба в любой точке плиты описывается выражением

$$w(x, y)=\frac{3q\left(1-\mu^2\right)}{2Eh^3\left(\frac{3}{a_1^4}+\frac{3}{b_1^4}+\frac{2}{a_1^2b^2}\right)}\left(\frac{x^2}{a_1^2}+\frac{y^2}{b_1^2}-1\right)^2 \tag{5}$$

Сопоставляя выражения (3) и (4), видим, что они отличаются друг от друга только коэффициентами, зависящими от $a$ и $b$. Для прямоугольной пластины этот коэффициент имеет вид

$$k_1 = \alpha \left(\frac{a}{b}\right) b_1^4 . \tag{6}$$

Для эллиптической пластины коэффициент вскрытия выразится формулой

$$K_2 = \frac{3}{2} \frac{1}{\frac{3}{a_1^4} + \frac{3}{b_1^4} + \frac{2}{a_1^2 b_1^2}} \tag{7}$$

Численные значения $K_1(a, b)$ и $K_2(a, b)$ при различном отношении $a/b$ следующие:

| $a/b$ | 1 | 1,5 | | 5 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|
| $K_1(a, b)$ | 0,243 | 0,422 | 0,486 | 0,500 | 0,500 |
| $K_2(a, b)$ | 0,188 | 0,320 | 0,406 | 0,487 | 0,497 |
| $\frac{\Delta K}{K_1} = \frac{\Delta w_0}{w_{01}}$ | 0,23 | 0,24 | 0,16 | 0,025 | 0,006 |

Рассматривая эти соотношения, нетрудно заметить, что формула (3) дает хорошее совпадение с формулой (4) при пролетах с отношением сторон $a/b \geqslant 2$. Это условие соблюдается в весьма широкой области, в частности, при системах разработки длинными столбами с посадкой кровли на целиках. Такие системы применяются, например, на шахтах треста «Ленинградсланец» (и в других бассейнах) и в литературе сокращенно называются камерами-лавами.

Произведенный анализ показывает, что при данном условии отклонения прогибов прямоугольной и эллиптической плит, защемленных по контуру, в любой точке меньше, чем в центре. На основании этого в указанных пределах соотношений $a/b$ расчеты опусканий кровли могут производиться по формуле (5), причем незначительные неточности идут в запас прочности кровли.

Горные породы обладают свойствами ползучести. В ряде исследований предлагается для учета ползучести вводить коэффициент ползучести $\xi$ и рекомендуется [2] для пород кровли средней крепости при изгибе принимать его равным 1,20—1,50. Поэтому окончательно формула (5) будет иметь вид

$$w(x, y) = \frac{3q}{2Eh^3} \xi (1 - \mu^2) \frac{\left(\frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{b_1^2} - 1\right)^2}{\frac{3}{a_1^4} + \frac{3}{b_1^4} + \frac{2}{a_1^2 b_1^2}} \tag{8}$$

По этой формуле теоретическое значение прогибов может быть определено с достаточным приближением.

Опускание кровли в очистных забоях контролируется на очень немногих шахтах. Причем контроль, если и осуществляется, не носит планомерного характера и производится обычно при помощи одной измерительной стойки, которая устанавливается вблизи ожидаемого геометрического центра камеры-лавы (например, шахты № 2 и 3 треста «Ленинградсланец»). Однако измерение в одной точке не дает возможности судить о поведении всей кровли лавы в целом, не позволяет своевременно обнаруживать локальные ослабления кровли, вызванные

трещиноватостью, карстовыми нарушениями и др. Было бы ошибочно также считать, что максимальные опускания всегда следует ожидать вблизи геометрического центра лавы: на практике в ряде случаев это условие не выполняется. Таким образом, для полного контроля за поведением кровли измерения следует проводить в целом ряде точек, а их расположение и количество должно позволять построить графики опускания кровли по профильным линиям. Вопрос о расположении и числе точек измерения является отдельным вопросом, который в пределах данной статьи не рассматривается. Обозначим в общем случае число точек, в которых расположены датчики, через $k$. Положение каждого $i$-го датчика определяется двумя координатами $x_i$ и $y_i$. Введем следующие обозначения: $w_{i\,д}$ — опускание кровли, замеренное $i$-м датчиком в данном цикле опроса; $w_{i\,р}$ — расчетное опускание для $i$-й точки измерения при данном $b_1$; $w_{i\,пред}$ — предельное допустимое опускание для $i$-й точки измерения.

Предлагается следующий порядок обработки информации об опусканиях кровли, получаемой от $k$ датчиков.

1. Находится суммарный прогиб для каждого из датчиков, состоящий из опускания кровли за все предыдущие циклы опроса и показания датчика в данном цикле:

$$\sum_{n=0}^{n=m} (w_{i\,д})_n = \sum_{n=0}^{n=m-1} (w_{i\,д})_n + (w_{i\,д})_m,$$

где $\sum_{n=0}^{n=m-1} (w_{i\,д})_n$ — сумма показаний $i$-го датчика за все предыдущие циклы опроса; $n$ — число циклов опроса. Если датчик показывает не относительное опускание (за данный цикл), а полное (суммарное), то обработка начинается с пункта 2 и сравнение производится не с $\sum_{n=0}^{n=m} (w_{i\,д})_n$, а с $w_{i\,д}$.

2. Сравнивается величина суммарного прогиба $\sum_{n=0}^{n=m} (w_{i\,д})_n$ для каждой точки измерения с вычисленным для этой точки $w_{i\,р}$. Расчет производится по формуле (8), в которой переменные $x_i$, $y_i$ определяют положение точки измерения, а $b_1 = \frac{b}{2}$ характеризует ширину призабойного пространства и является в известном смысле функцией времени. При обработке информации $b_1$ может задаваться либо при каждом цикле опроса датчиков, либо, если шаг подвигания забоя строго определен, сразу на весь период разработки лавы.

На основании сравнения $\sum_{n=0}^{n=m} (w_{i\,д})_n$ и $w_{i\,р}$ можно сделать вывод о близости характера опускания кровли к расчетному, о наличии в кровле ослаблений (трещиноватости, карстовых нарушений и др.) и о влиянии на опускание кровли различных производственных процессов.

3. Сравнивается суммарный прогиб $\sum_{n=0}^{n=m} (w_{i\,д})_n$ для каждой точки измерения с предельно допустимыми опусканиями кровли в этих точках $w_{i\,пред}$, которые определяют экспериментально в предыдущих циклах разработки. При приближении суммарного прогиба к предельно допустимому подается сигнал об опасности в какой-либо точке лавы или во всей лаве в целом. Делается вывод о необходимости подкрепить кровлю на каком-либо участке лавы или о прекращении работ в лаве.

Вся обработанная информация может быть представлена в виде перфолент, таблиц, графиков и др. Процесс обработки информации описывается алгоритмом (рис. 2).

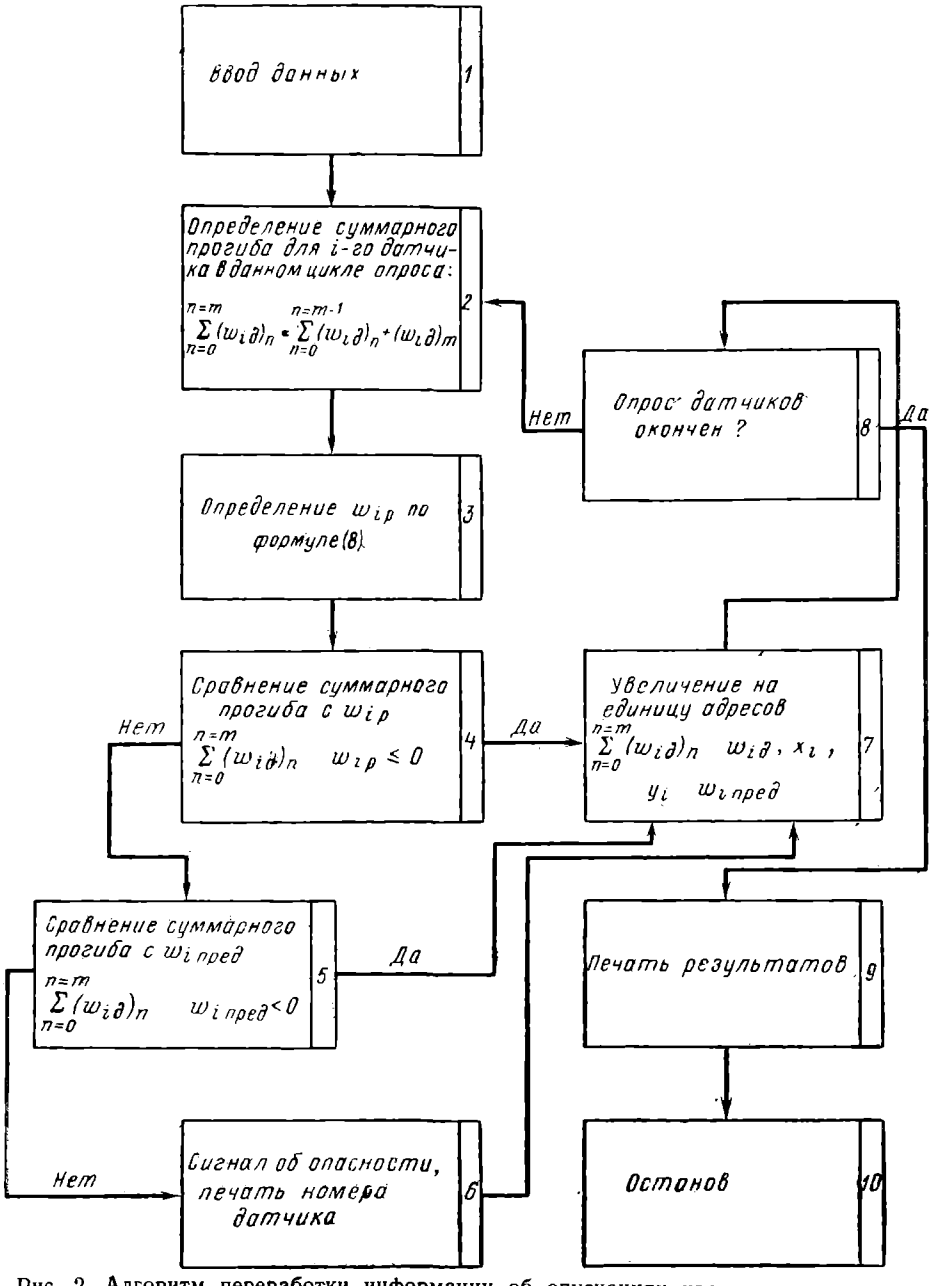



Рис. 2. Алгоритм переработки информации об опусканиях кровли в камере-лаве

## ЛИТЕРАТУРА


1. Безухов Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. Высшая школа, 1961.
2. Борисов А. А. Расчеты горного давления в лавах пологих пластов. Недра, 1964.
3. Бубнов И. Г. Строительная механика корабля. Ч. 2. Гостехиздат, 1953.
4. Галеркин Б. Г. Упругие тонкие плиты. Госстройиздат, 1933.