

УДК 622.25 (06)

М.А. Голодов

**МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
КОРОТКОЗАБОЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ПРИ ОТРАБОТКЕ ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ
В ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ**

Разработан алгоритм для обоснования параметров короткозбойных технологий отработки околоствольных целиков с закладкой выработанных пространств, с соблюдением требований при которых развивающиеся деформации в массиве не должны превышать допустимых для шахтных стволов, и с учетом сроков строительства и пуска шахты в эксплуатацию.

Ключевые слова: полезное ископаемое, время отработки, алгоритм, околоствольный целик, деформация, параметры отработки, околоствольный двор, вертикальный ствол, закладка, камера.

Плезные ископаемые, законсервированные в предохранительных околоствольных целиках, составляют значительную часть в общей структуре потерь угля в период строительства и последующей эксплуатации горного предприятия. Количество угля, оставленного в целике, исчисляется миллионами тонн. Отработка околоствольных целиков на стадии строительства шахты, в срок до пуска лав первой очереди, повысит эффективность ведения горных работ. При этом выемка полезного ископаемого должна вестись с соблюдением требований, при которых развивающиеся деформации в массиве не должны превышать допустимых для шахтных стволов.

Основное назначение методики заключается в разработке алгоритма для обоснования параметров короткозбойных технологий отработки околоствольных целиков с закладкой выработанных пространств, обеспечивающих в процессе ведения горных работ выполнение двух основных требований:

- безопасную по критериям предельных деформаций сжатия-растяжения, наклонов и кривизны подработку вертикальных шахтных стволов по условию:

$$\varepsilon_{j,p} n_\varepsilon \leq \varepsilon_{j,доп}; i_{j,p} n_i \leq i_{j,доп}; K_{j,p} n_K \leq K_{j,доп},$$

где $\varepsilon_{j,p}$ — относительные деформации сжатия-растяжения, $i_{j,p}$ — средний уклон и $K_{j,p}$ — максимальная кривизна на j -м участке по длине ствола;

- время отработки околоствольных целиков $T_{отр.ц}$ ограничено сроками строительства и пуска шахты в эксплуатацию, а конкретнее — временем подготовки очистного фронта первой очереди $T_{подг.оч}$ — периодом между окончанием проведения выработок главных направлений в пределах околоствольного целика и началом очистных работ в лавах ($T_{отр.ц} \leq T_{подг.оч}$).

Выполнение первого требования предполагает обоснование параметров выбранных (в результате анализа горно-геологических условий) систем разработки — размеров камер и целиков, выемочных участков при заданных характеристиках закладки (коэффициента неполноты закладки выработанных пространств и коэффициента уплотнения закладочного массива). Второе требование реализуется на основе адекватности технологических схем ведения очистных работ в коротких забоях заданному времени отработки и предполагает обоснование организационно-технологических показателей — темпов продвижения очистного фронта и времени погашения выемочных участков.

Общими исходными данными для обоснования параметров отработки околоствольных целиков являются:

- технологические характеристики угольного пласта и свойства вмещающих пород — угол падения, мощность и глубина залегания угольного пласта, тип основной кровли по обрушаемости, расчетное сопротивление сжатию пород на контуре проектируемых выработок главных направлений и околоствольного двора;
- геомеханические характеристики подрабатываемого массива горных пород — граничные углы, угол максимального оседания, углы полных сдвижений, относительные величины максимального оседания и максимального горизонтального сдвижения;
- пространственные размеры и конфигурация околоствольного двора, расстояния от шахтных стволов до крайних выработок околоствольного двора, расстояния между стволами;
- технологические свойства закладочного массива — коэффициент неполноты закладки выработанных пространств и коэффициент усадки закладочного массива[1].

На основании первых трех групп исходных данных определяются размеры околоствольных целиков и неизвлекаемых предохранительных целиков по формуле и номограмме (рис. 1):

$$L_{\beta,ц} = k_{обр} k_{под} L_o + L_{\beta,ок.дв} ;$$

$$L_{\gamma,ц} = k_{обр} k_{под} L_o + L_{\gamma,ок.дв} ;$$

$$L_{\delta,ц}^л = k_{обр} k_{под} L_o + L_{\delta,ок.дв}^{л,макс} ;$$

$$L_{\delta,ц}^{пр} = k_{обр} k_{под} L_o + L_{\delta,ок.дв}^{пр,макс} ,$$

при выполнении условия подработки шахтных стволов:

$$\frac{H_{ств}^л}{\cos \alpha \tan \beta_0 + \sin \alpha} > L_{\beta,ц} ;$$

$$\frac{H_{ств}^в}{\cos \alpha \tan \gamma_0 - \sin \alpha} > L_{\gamma,ц} ;$$

$$H_{ств}^{пр} \cot \delta_0 > L_{\delta,ц}^л ;$$

$$H_{ств}^л \cot \delta_0 > L_{\delta,ц}^{пр} ,$$

где $H_{\text{ств}}^n$, $H_{\text{ств}}^B$, $H_{\text{ств}}^{\text{np}}$ и $H_{\text{ств}}^l$ — глубина ствола соответственно со стороны падения, восстания, справа и слева по простиранию от участка отработки, находится длина участка искривления ствола

$$H_{\text{вл}}^n = H_{\text{ств}}^n - L_{\beta, \mu} (\cos \alpha \tan \beta_0 + \sin \alpha);$$

$$H_{\text{вл}}^B = H_{\text{ств}}^B - L_{\gamma, \mu} (\cos \alpha \tan \gamma_0 - \sin \alpha);$$

$$H_{\text{вл}}^{\text{np}} = H_{\text{ств}}^{\text{np}} - L_{\delta, \mu}^n \tan \delta_0;$$

$$H_{\text{вл}}^l = H_{\text{ств}}^l - L_{\delta, \mu}^{\text{np}} \tan \delta_0.$$

По номограмме также определяется размер участка околоствольного целика, принимаемого к отработке. Далее при использовании неравенств:

$$L_{\beta, \psi} \frac{\sin \psi_2 \sin(\psi_1 + \alpha)}{\sin(\psi_1 + \psi_2)} + L_{\beta, \mu} \sin \alpha \geq H_{\text{ств}}^n$$

$$L_{\gamma, \psi} \frac{\sin \psi_1 \sin(\psi_2 - \alpha)}{\sin(\psi_1 + \psi_2)} - L_{\gamma, \mu} \sin \alpha \geq H_{\text{ств}}^B.$$

Если данные условия не выполняются, то возможны 2 варианта.

1-й вариант — ствол не подвержен влиянию полной подработки:

$$L_{\beta, \psi} \frac{\sin \psi_2 \sin(\psi_1 + \alpha)}{\sin(\psi_1 + \psi_2)} \leq L_{\beta, \mu} \cos \alpha \tan \beta_0;$$

$$L_{\gamma, \psi} \frac{\sin \psi_1 \sin(\psi_2 - \alpha)}{\sin(\psi_1 + \psi_2)} \leq L_{\gamma, \mu} \cos \alpha \tan \gamma_0;$$

$$\frac{1}{2} L_{\delta, \psi} \tan \psi_3 \leq L_{\delta, \mu} \tan \delta_0;$$

2-й вариант — ствол подвержен влиянию как полной, так и неполной подработки:

$$L_{\beta, \psi} \frac{\sin \psi_2 \sin(\psi_1 + \alpha)}{\sin(\psi_1 + \psi_2)} > L_{\beta, \mu} \cos \alpha \tan \beta_0;$$

$$L_{\gamma, \psi} \frac{\sin \psi_1 \sin(\psi_2 - \alpha)}{\sin(\psi_1 + \psi_2)} > L_{\gamma, \mu} \cos \alpha \tan \gamma_0;$$

$$\frac{1}{2} L_{\delta, \psi} \tan \psi_3 > L_{\delta, \mu} \tan \delta_0.$$

уточняется условие подработки (полная подработка, неполная подработка, полная и неполная подработка), в результате чего участок искривления ствола может быть разделен на интервалы полной и неполной подработки. Подготовка данных заканчивается расчетом коэффициента подработанности

$$N = \sqrt{L_y / H_{\text{сп}}},$$

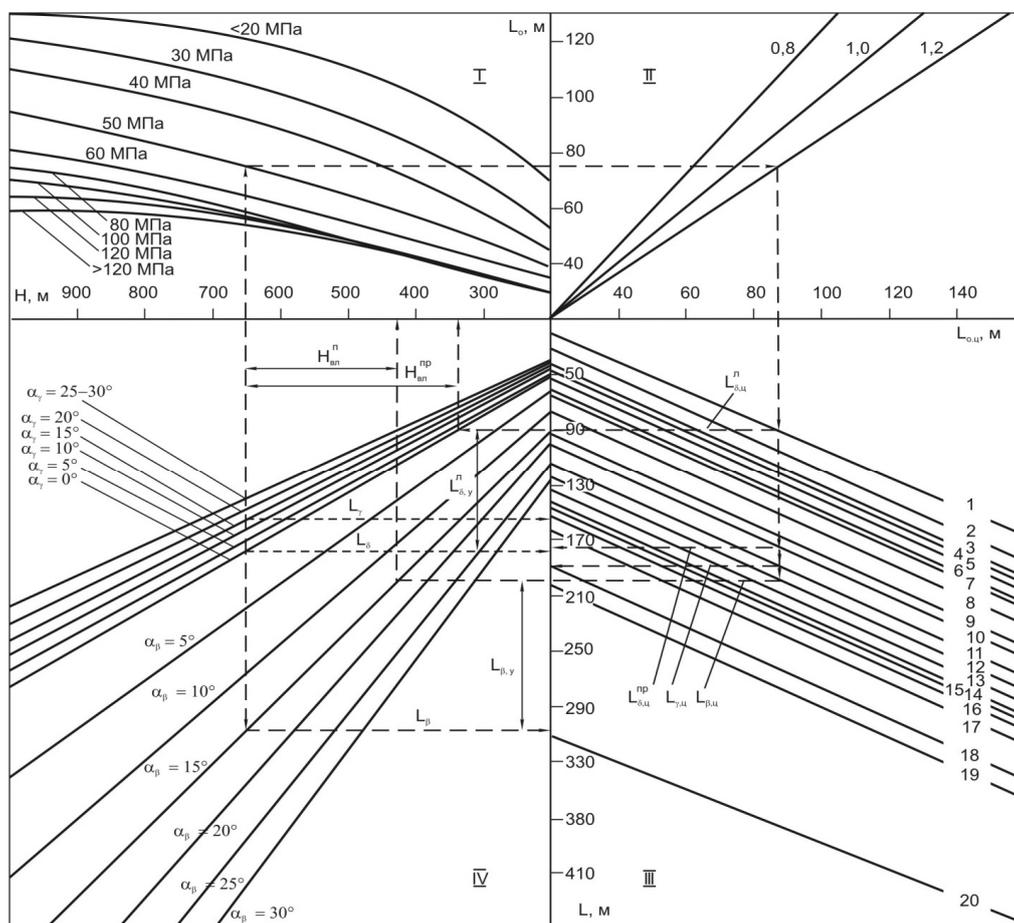


Рис. 1. Номограмма для определения условий и параметров подработки стволов

где L_y принимает значения $L_{\beta,y}$, $L_{\gamma,y}$ или $L_{\delta,y}$, а H_{cp} — средняя глубина разработки — значения H_B , H_n или $H_{пр}$

для всех участков целика, принимаемых к отработке, а также длин полумульд и участков полумульд на поверхности.

Осуществляется дискретизация участка искривления шахтного ствола, на основании чего сначала формируется массив текущих значений координат — расстояний от начала участка искривления до конкретного сечения, а затем массив координат, иначе текущих расстояний от точки максимального оседания (начала координат полумульд) до соответствующего сечения.

По критерию «безопасная подработка шахтных стволов» осуществляется обоснование параметров систем разработки — размеров камер, заходок и целиков. При этом выбор системы разработки производится на основе анализа адаптивности различных вариантов ведения очистных работ короткими забоями к конкретным горно-геологическим условиям.

Наличие закладочного материала позволяет установить его характеристики, используемые в дальнейших расчетах: коэффициент неполноты закладки k_H (в общем случае k_H изменяется в пределах от 0,05 до 0,15) и коэффициент усадки закладочного массива k_y ($k_y = 0,25 - 0,40$).

Алгоритм обоснования параметров систем разработки короткими забоями по данному критерию заключается в последовательном выполнении следующей совокупности процедур.

1. Без учета вынимаемой мощности пласта, но в соответствии с максимальными величинами относительного оседания и горизонтального сдвижения по формулам определяются относительные деформации сжатия-растяжения $\varepsilon_{0,j}$, наклоны $i_{0,j}$ и кривизна $K_{0,j}$ ствола на участке искривления в заданных j -х сечениях:

$$\varepsilon_p = \frac{q_0 m}{L} \left(K_1 - 2K_1 \frac{Y}{L} - 6\pi \frac{Y^2}{L^2} - 6\pi K_1 \frac{Y^3}{L^3} + 6\pi K_1 \frac{Y^4}{L^4} \right) \exp\left(-2\pi \frac{Y^3}{L^3}\right) N \cos \alpha;$$

$$i_p = \frac{q_0 m}{L} \left(\begin{array}{l} \left(K_1 - 2K_1 \frac{Y}{L} - 6\pi \frac{Y^2}{L^2} - \right. \\ \left. - 6\pi K_1 \frac{Y^3}{L^3} + 6\pi K_1 \frac{Y^4}{L^4} \right) \exp\left(-2\pi \frac{Y^3}{L^3}\right) (\tan \alpha + a_0 B_0) + \\ \left. + a_0 K_2 K_3 \left(K_3 \left(1 - \frac{Y}{L} \right) + K_4 \right) \exp\left(-\left(K_3 \left(1 - \frac{Y}{L} \right) + K_4 \right)^2\right) \right) N \cos \alpha;$$

$$K_p = \frac{2q_0 m}{L^2} \left(\begin{array}{l} \left(K_1 - 6\pi \frac{Y}{L} - 12\pi K_1 \frac{Y^2}{L^2} + \right. \\ \left. + 18\pi K_1 \frac{Y^3}{L^3} + 18\pi^2 \frac{Y^4}{L^4} + \right. \\ \left. + 18\pi^2 K_1 \frac{Y^5}{L^5} - 18\pi^2 K_1 \frac{Y^6}{L^6} \right) \exp\left(-2\pi \frac{Y^3}{L^3}\right) (\tan \alpha + a_0 B_0) + \\ \left. + a_0 K_2 K_3^2 \left(\left(K_3 \left(1 - \frac{Y}{L} \right) + K_4 \right)^2 - \frac{1}{2} \right) \exp\left(-\left(K_3 \left(1 - \frac{Y}{L} \right) + K_4 \right)^2\right) \right) N \cos \alpha.$$

2. Из массива результатов расчета выбираются максимальные значения деформации сжатия-растяжения $\varepsilon_{0,\max}$, наклона $i_{0,\max}$ и кривизны $K_{0,\max}$.

3. Из анализа соотношений (1), сформированных в виде

$$\varepsilon_{0,\max} n_\varepsilon t \leq \varepsilon_{\text{доп}}, \quad i_{0,\max} n_i t \leq i_{\text{доп}} \quad \text{и} \quad K_{0,\max} n_K t \leq K_{\text{доп}},$$

где t — максимальная вынимаемая мощность угольного пласта, устанавливается (при невыполнении неравенств) факт вероятного нарушения крепи и армировки ствола. Выполнение данных условий означает возможность безопасной отработки участков околоствольных целиков любой системой разработки при управлении горным давлением полным обрушением. В противном случае не-

обходимо применение систем разработки короткими забоями с закладкой выработанных пространств.

4. Для дальнейшей реализации алгоритма определяется условная («требуемая») вынимаемая мощность угольного пласта, при которой обеспечивается безопасная подработка шахтных стволов:

$$m_{\varepsilon}^{ysl} = \frac{\varepsilon_{доп}}{\varepsilon_{0, \max} n_{\varepsilon}}; m_i^{ysl} = \frac{i_{доп}}{i_{0, \max} n_i}; m_K^{ysl} = \frac{K_{доп}}{K_{0, \max} n_K}.$$

Данная условная мощность регламентирует эффективную вынимаемую мощность пласта, т.е.:

$$m_{эф} = m_{\varepsilon}^{ysl} \text{ или } m_{эф} = m_i^{ysl}, \text{ или } m_{эф} = m_K^{ysl}.$$

5. Исходя из того, что эффективная вынимаемая мощность пласта определяется на основании трех составляющих (вынимаемой мощности, параметров закладки и полноты выемки) — $m_{эф} = m(k_H + k_Y - k_H k_Y) K_{извл}$, то при исходных характеристиках закладочного массива можно получить такой показатель, как коэффициент извлечения полезного ископаемого:

$$K_{извл} = \frac{m_{эф}}{m(k_H + k_Y - k_H k_Y)}.$$

Из трех количественных показателей коэффициента извлечения выбирается его наименьшее значение.

6. При варьировании пролетов камер (при камерной системе разработки) или пролетов камер и заходок (при камерно-столбовой системе разработки) по рассчитанному коэффициенту извлечения определяется соответствующий ряд размеров междукамерных целиков, целиков между заходками и число заходок.

Таким образом, предложенный алгоритм обеспечивает формирование массива геометрических параметров выработанных пространств и целиков угля между ними в пределах выемочного участка для конкретного варианта системы разработки с закладкой, обеспечивающего отработку участка околоствольного целика по критерию «безопасная подработка шахтных стволов».

Основными исходными данными для реализации требования обоснования параметров по критерию «ограничение по времени» являются: выбранная технологическая схема организации работ (поточная или цикличная), численность состава звена рабочих на очистных работах; технические характеристики применяемого оборудования; средства и плотность крепления горных выработок.

Суть реализации критерия «ограничение по времени», как отмечалось выше, сводится к удовлетворению условия $T_{отр.ц} \leq T_{подг.оч}$. При этом время отработки околоствольного целика $T_{отр.ц}$, исходя из разделения его на участки со стороны восстания, падения и по простиранию, должно составлять:

$$T_{отр.ц} \leq T_{\beta} + T_{\delta}^A + T_{\delta}^{MP} + T_{\gamma}. \quad (1)$$

Формула (1) является обобщенной, так как характеризует последовательную отработку участков околоствольного целика. При заданном ограничении общего срока предполагается возможность совмещения во времени отработки участков целика с разных сторон от околоствольного двора. Анализ геометриче-

ских размеров участков околоствольных целиков, принимаемых к отработке, показывает, что наибольших размеров достигают участки, расположенные со стороны восстания от околоствольных дворов (шахтных стволов). Тогда, при совмещении во времени отработки участка со стороны восстания и отработки других участков, отработка всего целика должна удовлетворять условию:

$$T_{отр.ц} \leq T_{\beta}.$$

При таком подходе алгоритм обоснования параметров короткозабойных технологий сводится к следующим процедурам.

1. Определяются регламентированные темпы подвигания очистного фронта:

$$v_{в.у}^{регл} = \frac{T_{отр.ц}}{L_{\beta}}.$$

2. Для выбранного варианта системы разработки устанавливается взаимосвязь между регламентированными темпами подвигания очистного фронта и временем очистного цикла (на 1 м длины выработки):

$$v_{в.у}^{регл} b_{в.у} = t_{подв.оч} / v_{в.у}. \quad (2)$$

3. При известном соотношении между пролетами камер (заходок) и шириной целиков, устанавливаемым по результатам выполнения предыдущего алгоритма, и при варьировании технических и организационных исходных данных определяется размер камеры (заходки), удовлетворяющий уравнению (2).

Аналогичным образом устанавливаются размеры камер (заходок) и целиков для других участков отработки околоствольного целика при различных вариантах совмещения во времени очистных работ на них. Но в любом случае, как при одновременной, так и при последовательной отработке (или при комбинации последовательной и одновременной отработки), общее время отработки не должны превышать сроков подготовки очистного фронта.

Итогом обоснования параметров систем разработки и организационно-технологических показателей ведения очистных работ по обоим алгоритмам является построение структурированной технологической схемы отработки околоствольного целика с закладкой выработанных пространств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страданченко С.Г. Обоснование отработки околоствольных целиков короткими очистными забоями при сохранении безаварийной эксплуатации шахтных стволов: Дисс...д-ра техн. наук/ТулГУ, ЮРГТУ (НПИ). — Тула, 2000. — 225 с. **УДК**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Голодов Максим Александрович — кандидат технических наук, доцент, Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института).

