

УДК 622.283

Феклистов Юрий Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
заведующий лабораторией
геодинамики и горного давления
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: feklistov@igduran.ru

Голотвин Алексей Дмитриевич

кандидат технических наук,
лаборатория геодинамики
и горного давления, ИГД УрО РАН,
e-mail: algol3003@mail.ru

Широков Максим Анатольевич

Инженер ПТО,
ЗАО Чукотская горно-геологическая компания,
рудник «Купол»,
e-mail: max-589@yandex.ru

**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ
СТВОЛОВ В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ***Аннотация:*

В статье рассмотрены нагрузочно-деформационные характеристики пород контура ствола в зависимости от изменения их прочности во времени. На основе анализа исследований прочностных свойств горных пород и проявлений горного давления в подземных горных выработках определен диапазон снижения прочности массива и темп этого изменения. Полученные результаты позволяют точнее оценить нагрузочно-деформационные характеристики пород контура ствола и более обоснованно определить параметры крепи стволов в условиях IV категории устойчивости осадочных пород.

Ключевые слова: крепь ствола, осадочные породы, нагрузочно-деформационная характеристика, фактор времени, прочность пород

Feklistov Yury G.

candidate of technical sciences,
the head of the laboratory of geo-dynamics
and mine pressure,
the Institute of mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg, Mamin-Sibiriyak st., 58
e-mail: feklistov@igduran.ru

Golotvin Alexey D.

candidate of technical sciences,
co-executor of the laboratory
of geo-dynamics and mine pressure,
the Institute of mining UB RAS
e-mail: algol3003@mail.ru

Shirokov Maxim A.

The engineer of PTD,
CJSC The Chukotsk mining-geological company,
“Kupol mine”
e-mail: max-589@yandex.ru

**THE SHAFTS' SUPPORT PARAMETERS
ESTIMATION IN SEDIMENTARY ROCKS***Abstract:*

Loading-deformational characteristics of rocks in the shaft contour depending on their strength variation on a time basis are considered in the article. In terms of the researches analysis of rocks strength properties and rock pressure manifestation in sub-surface mine workings both the range of rock mass strength decrease and pace of this variation are determined. The obtained results permit to estimate the rocks loading-deformational characteristics in the shaft contour and to define the shafts' support parameters in the IV class conditions of sedimentary rocks by well-grounded way.

Key words: shaft's support, sedimentary rocks, loading-deformational characteristic, time factor, rocks strength

Важным условием высокоэффективной и безопасной работы шахт является обеспечение рабочего состояния стволов с минимальными затратами на их проведение и поддержание. Условия поддержания шахтных стволов определяются степенью сложности механических, структурных и гидрогеологических свойств толщи, взаимным расположением стволов относительно очистных работ и других выработок, процессами водопонижения и дренирования.

В настоящее время при проектировании строительства шахтных стволов технические решения разрабатываются, в основном опираясь на регламентирующие документы [1, 2].

Согласно [1, 2], оценка степени сложности поддержания стволов производится в соответствии с категориями устойчивости, определяемыми по величине критерия устойчивости C [1, 2]:

$$C = k_T k_{сб} k_{ц} k_t H_p / [2,63 + k_{\alpha} \sigma_{сжм} (5,25 + 0,0056 k_{\alpha} \sigma_{сжм})], \quad (1)$$

где $\sigma_{сжм}$ – расчетное сопротивление пород массива сжатию, МПа;

k_T – коэффициент, учитывающий взвешивающее действие воды; для участков вне водоносных горизонтов равен 1;

$k_{сб}$ – коэффициент, учитывающий влияние других выработок: для протяженных участков ствола $k_{сб} = 1,0$, для сопряжений $k_{сб} = 1,5$;

$k_{ц}$ – коэффициенты воздействия на ствол очистных работ для участков, не испытывающих влияния, $k_{ц} = 1,0$;

k_{α} – коэффициенты влияния угла залегания пород α , $k_{\alpha} = 1/(1 + 0,5 \sin \alpha)$;

k_t – коэффициенты влияния времени эксплуатации выработки; для шахтных стволов $k_t = 1$, для других выработок $k_t = 0,9$;

H_p – расчетная глубина расположения выработки, м; $H_p = kH$, где H – проектная глубина, k – коэффициент, учитывающий влияние тектонических напряжений, который при их отсутствии равен 1,0, при наличии – по фактическим данным, а при отсутствии таковых – 1,5.

По рассчитанным значениям критерия устойчивости C устанавливаются четыре категории устойчивости стволов: при $C < 3$ – I категория, устойчивое состояние; при $C = 3 - 6$ – II категория, среднеустойчивое состояние; при $C = 6 - 10$ – III категория, неустойчивое состояние; при $C > 10$ – IV категория, весьма неустойчивое состояние.

В «Руководстве...» [1], рекомендованном для предприятий угольной, горнорудной и нерудной промышленности, в приложении 8 рассматриваются вопросы строительства стволов в условиях IV категории устойчивости. Аналогичные вопросы решаются «Указаниями...» [2] в приложении 5 с определенными отличиями от [1]. Однако для этих ситуаций влияние временного фактора детально не рассматривается.

Следует также отметить, что в последние три десятилетия регламентирующих документов типа вышеотмеченных [1, 2] не было издано.

Сложившаяся ситуация создает трудности для решения вопросов строительства шахтных стволов в условиях сравнительно высокого баланса геостатического (и геодинамического) давления и прочности массива.

Нами предлагается вариант оценки параметров крепи с учетом фактора времени.

Для определения параметров крепи стволов в условиях IV категории в общем следует основываться на расчетах радиуса R_L зоны предельного состояния пород [2, 3, 4]. При естественном напряженном состоянии, близком к гидростатическому, радиус R_L определяется по формуле:

$$R_L = R_0 \{ [2\gamma H + 2\sigma_{сжм} / (k - 1)] / [\sigma_{сжм} (k + 1) / (k - 1) + (k + 1)P_k] \}^{1/(k-1)}, \quad (2)$$

где R_0 – радиус выработки в черне, м;

γ – объемный вес пород, МН/м³;

H – глубина горных работ, м;

$\sigma_{сжм}$ – расчетное сопротивление пород массива сжатию, МПа;

$k = (1 + \sin \rho) / (1 - \sin \rho)$ – коэффициент бокового подпора;

ρ – угол внутреннего трения пород, град;

P_k – отпор крепи, МПа.

Перемещение породного контура ствола U_L в зависимости от R_0 и R_L определяется:

$$U_L = (R_L^2 - R_0^2) (k_p - 1) / 2R_0, \quad (3)$$

где k_L – коэффициент разрыхления пород в зоне предельного состояния с учетом отпора крепи.

В свою очередь k_L зависит от сопротивления крепи и определяется так:

$$k_p = 1 + \Delta(1 + P_k/P^*)^{-1} \quad (4)$$

Значения параметров: Δ – величина, численно равная $k_p - 1$ при $P_k = 0$ и P^* – коэффициент, учитывающий степень влияния отпора крепи для различных пород, которые получены на основе анализа работ [2, 4] и приведены в таблице.

Значения параметров Δ для различных пород

Породы	Δ	P^*
Каменная соль	0,15	1,0
Горючий сланец	0,13	3,2
Мрамор	0,05	3,8
Уголь, известняк, алевролит	0,02	4,0
По работе [3]	0,18	1,2

$$\Delta_{cp} = 0,106 \quad P^*_{cp} = 2,64$$

Упругое перемещение пород не следует учитывать, поскольку оно возникает сразу после обнажения и в условиях IV категории устойчивости пород.

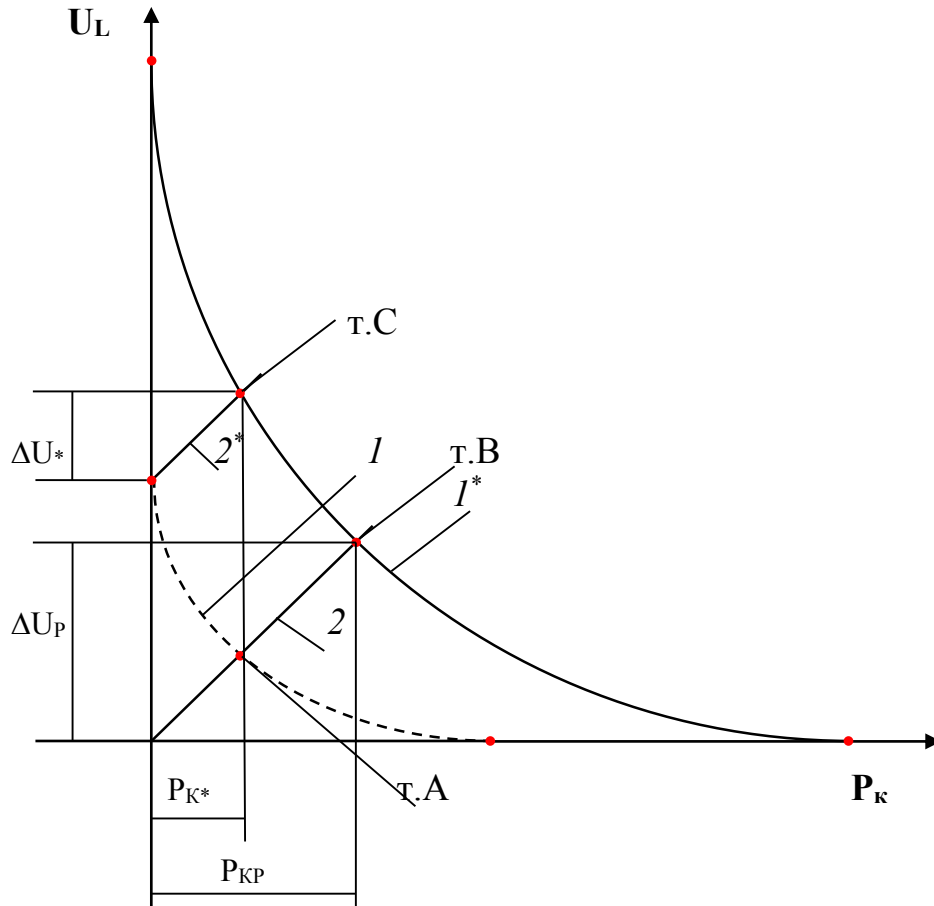


Диаграмма взаимодействия крепи с контуром пород ствола в условиях IV категории устойчивости пород:

I – нагрузочно-деформационная характеристика пород контура ствола на момент начала его строительства при $\sigma_{сж} t=0$; I^* – нагрузочно-деформационная характеристика пород контура ствола при $\sigma_{сж} t=\infty$ (ориентировочно через 2 – 5 лет); 2 и 2^* – нагрузочно-деформационные характеристики крепи ствола;

ΔU_p и $P_{кр}$, обычно принимаемые в расчетах, – необходимая податливость крепи и ее отпор;

ΔU^* – необходимая податливость крепи и ее отпор $P_{к*}$ по предлагаемой методике

Обычно при расчетах параметров крепи определяют нагрузочно-деформационную характеристику пород контура ствола как функцию $U_L = F(\gamma H, \sigma_{сж м}, \rho, P_k)$, исходя из уравнений (2) и (3). Затем, принимая ту или иную функцию нагрузочно-деформационной характеристики крепи $U_k = F(P_k)$ и решая эти уравнения совместно, находят отпор крепи и ее перемещение.

На рисунке показана диаграмма взаимодействия крепи с контуром пород ствола при решении задач такого рода.

Рассмотрим пример расчета перемещений пород контура ствола по предлагаемой методике при следующих исходных данных:

$H=800$ м, $\sigma_{сж обр}=80$ МПа, $k_{стр}=0,25$, $\sigma_{сж м t=0}=20$ МПа, $\rho=30^0$, $\sigma_{сж м t=\infty}=10$ МПа, $\rho=30^0$, $k_p = 1,1$.

Определим размеры R_L при $R_0=4$ м, $P_k=0$, $k = 3$:

а) $\sigma_{сж м t=0}=20$ МПа;

$$R_L = R_0 \{ [2\gamma H + 2\sigma_{сж м} / (k-1)] / [\sigma_{сж м} (k+1) / (k-1)] \}^{1/(k-1)} = 4 \{ [40+20] / [2 \cdot 20] \}^{0,5} = 4,90 \text{ м}$$

б) $\sigma_{сж м t=\infty}=10$ МПа;

$$R_{L t=\infty} = 4 \{ [40+10] / [2 \cdot 10] \}^{0,5} = 6,93 \text{ м};$$

Определим перемещения пород контура ствола:

$$U_L = (R_L^2 - R_0^2) (k_p - 1) / 2R_0;$$

$$U_{L t=0} = (4,9^2 - 4,0^2) (0,1) / 2 \cdot 4 = 0,100 \text{ м};$$

$$U_{L t=\infty} = (6,93^2 - 4,0^2) (0,1) / 2 \cdot 4 = 0,400 \text{ м}.$$

При этом нагрузочно-деформационную характеристику пород контура ствола определяют без детального учета фактора времени. В конкретных решениях на практике чаще принимают прочность массива пород на основе испытания прочности образцов породы в лабораторных условиях и коэффициента структурного ослабления без учета длительной прочности (решение т. А) или, что реже, принимают ее во внимание, но упрощенно (решение т. В). Согласно обширным исследованиям, приведенным в работе [5], длительная прочность $\sigma_{сж т=\infty}$ составляет 0,36...0,86 при среднем значении 0,65 от кратковременной $\sigma_{сж т=0}$. В расчетах, по нашему мнению, длительную прочность целесообразно принимать как среднее между 0,36 и 0,65 от кратковременной, т. е. $\sigma_{сж т=\infty} = 0,5\sigma_{сж т=0}$

Таким образом, в условиях IV категории устойчивости пород следует нагрузочно-деформационную характеристику пород контура ствола определять на момент начала строительства ствола при $\sigma_{сж м t \approx 0}$ и при $\sigma_{сж м} = \sigma_{сж м \infty}$ ориентировочно через 2 – 5 лет [5, 6] (решение т. С и соответствующие параметры крепи: податливость ΔU^* , сопротивление крепи P_k^*). Общая предлагаемая схема расчетов приведена на рисунке.

Литература

1. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи. – М.: ВНИМИ, ВНИИОМШС, 1983. – 272 с.
2. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Л.: ВНИМИ, 1986. – 222 с.
3. Руппенейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород / К.В. Руппенейт. – М.: Углетехиздат, 1954. – 384 с.
4. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок / Г.Л. Фисенко. – М.: Недра, 1976. – 272 с.
5. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов и др. – М.: Недра, 1979. – 269 с.
6. Громов Ю.В. Управление горным давлением при разработке мощных пологих пластов угля / Ю.В. Громов, Ю.Н. Бычков, В.П. Кругликов. – М.: Недра, 1985. – 239 с.



-
7. Строительная механика / Ю.М. Бурчаков и др. – М.: Высшая школа, 1983. – 255 с.
 8. СНИП II-21-75. Бетонные и железобетонные конструкции: гл.21, Ч. II / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1976. – 89 с.
 9. Беляев Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М.: Гостехиздат, 1953. – 856 с.