

**ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ ЦЕЛИ ДЛЯ ВЫБОРА
РАЦИОНАЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПОДСИСТЕМЫ «УПРОЧНЕННЫЕ ПОРОДЫ – КРЕПЬ»**

Розглянуто критерії вибору раціональної деформаційно-силової характеристики підсистеми «зміцнені породи – кріплення» для побудови функції мети при оптимізації режиму взаємодії системи «масив – зміцнені породи – кріплення».

Рассмотрены критерии выбора рациональной деформационно-силовой характеристики подсистемы «упрочненные породы – крепь» для построения функции цели при оптимизации режима взаимодействия системы «массив – упрочненные породы – крепь».

Criteria of a choice of the rational deformation-force characteristic of a subsystem «strengthened a rocks – support» for construction of function of the purpose are considered by optimization of a mode of interaction of system «massif –strengthened a rocks – support».

Очевидно, что максимальный эффект от упрочнения приконтурного массива достигается при установлении рациональных параметров его взаимодействия с поддерживающей крепью и с разупрочненным массивом в окрестности выработки. Поэтому успешное решение этой актуальной проблемы должно базироваться на принципах оптимизации режимов взаимодействия и взаимовлияния элементов триединой системы «массив – упрочненные породы – крепь» наряду с наиболее полным учетом особенностей упрочняющего эффекта от действия анкеров и нагнетания твердеющих смесей. Эти особенности, как показывает отечественная и мировая практика, характеризуются существенной дискретностью упрочняющего действия, которая накладывается на значительную неоднородность механических и геометрических параметров образованной грузонесущей конструкции в целом (названа нами подсистема «упрочненные породы – крепь»). Это обуславливает появление возмущений ее деформационно-силовой характеристики как в поперечном, так и продольном сечениях выработки. Данные факторы генерируют формирование пространственных изменений размеров зоны неустойчивого равновесия пород вокруг выработки и нагрузки на крепь от их веса. В совокупности отмеченные причины вызывают существенную непостоянность режимов взаимодействия системы «массив – упрочненные породы – крепь» в поперечном и продольном сечениях выработки, что отрицательно сказывается на ее устойчивости.

Таким образом, интенсификация ресурсосберегающих технологий обеспечения устойчивости горных выработок на основе более достоверного учета особенностей совместной работы упрочненных пород и крепи должна базироваться на пространственной оптимизации процесса взаимодействия системы «массив – упрочненные породы – крепь».

В общем случае в двухпараметрической схеме (рис. 1,а) идеальная деформационно-силовая характеристика крепи $q_K(U)$ должна быть равна функции $P_2(U)$ по кривой 2 (возможное обрушение). Тогда функция $q_K(U)$ неминуемо пройдет через оптимальную точку O . На практике этого добиться чрезвычайно трудно как по причинам стохастического разброса функции $P_2(U)$, так и из-за сложности подбора функции $q_K(U)$ для конкретной крепи. Поэтому обычно формулируют менее жесткий критерий

$$q_K(U) \geq P_2(U). \quad (1)$$

В четырехпараметрической схеме происходит аналогичная картина (см. рис. 1,б). Необходимо, чтобы поверхность $q_K(U, \theta, Z)$ была не менее поверхности $P_2(U, \theta, Z)$. Но имеются и свои особенности.

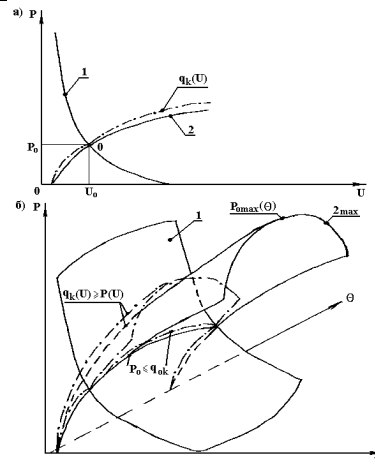


Рис. 1. К формулировке критерия выбора рациональной деформационно-силовой характеристики крепи по двухпараметрической (а) и четырехпараметрической (б) схемам

Во-первых, требуется, чтобы минимальная реакция крепи $q_{Kmin}(U, \theta)$ была не ниже максимальной нагрузки $P_{2max}(U, \theta)$, располагаемой в том же сечении выработки, то есть

$$q_{Kmin}(U, \theta) \geq P_{2max}(U, \theta) \text{ при } Z=0. \quad (2)$$

Во-вторых, рассмотрим эпюры реакции крепи $q_K(\theta)$ и нагрузки $P_2(\theta)$ на нее в поперечном сечении выработки (рис. 2).

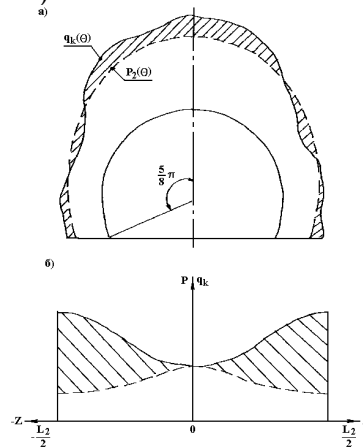


Рис. 2. Графическая интерпретация критериев выбора рациональной деформационно-силовой характеристики подсистемы «упрочненные породы – крепь» в поперечном (а) и продольном (б) сечениях выработки

Проще всего сформулировать условие, когда в любой точке контура реакция крепи должна быть не ниже нагрузки на нее. Однако расчеты по предельному состоянию крепей [1] показывают, что образование в наиболее напряженных местах пластических и квазипластических шарниров приводит не только к перераспределению нагрузки, но и в ряде случаев к повышению несущей способности крепи. Поэтому, на наш взгляд, более целесообразно смягчить условие (2) в плане интегрального его выполнения по контуру выработки, однако при этом все-таки разделить на две составляющие: интегральное выполнение по вертикальным и боковым нагрузкам. Тогда можно записать следующие условия

$$\left. \begin{aligned} \int_0^{\frac{5}{8}\pi} q_K \cos \theta \geq \int_0^{\frac{5}{8}\pi} P_2 \cos \theta; \\ \int_0^{\frac{5}{8}\pi} q_K \sin \theta \geq \int_0^{\frac{5}{8}\pi} P_2 \sin \theta. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Суммируя вышесказанное необходимо стремиться к снижению разницы между реакцией подсистемы «упрочненные породы – крепь» и нагрузкой на нее, особенно в продольном направлении, и критерий выбора рациональной деформационно-силовой характеристики подсистемы записать в виде

$$\left. \begin{aligned} \frac{L_2}{2} \left[\int_0^{\frac{5}{8}\pi} q_K(\theta, Z) \cos \theta d\theta - \int_0^{\frac{5}{8}\pi} P_{0\max}^p(\theta, Z) \cos \theta d\theta \right] dz \rightarrow 0; \\ \frac{L_2}{2} \left[\int_0^{\frac{5}{8}\pi} q_K(\theta, Z) \sin \theta d\theta - \int_0^{\frac{5}{8}\pi} P_{0\max}^p(\theta, Z) \sin \theta d\theta \right] dz \rightarrow 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

при $U = U_{0\max}(\theta)$.

Система (4) решается с учетом соблюдения условия (2).

Таким образом, с учетом исследований [2-4] получены все элементы для нахождения наиболее рационального решения по выбору режима взаимодействия системы. На первый взгляд решение задачи по оптимизации взаимодействия элементов подсистемы «упрочненные породы-крепь» лежит на поверхности – придав эпюре реакции и зависящей от нее эпюре нагрузки постоянное значение по длине выработки и уравнив их между собой в поперечном сечении. Однако практически все подсистемы «упрочненные породы-крепь» да и подавляющее большинство конструкций крепей характеризуются периодически изменяющейся вдоль выработки эпюрой реакции. Поэтому необходимо наполнить содержанием функцию цели (4) и искать соотношения ее параметров, при которых она бы в наибольшей степени приближалась к оптимальному значению. Для этого имеется все необходимое: эпюра реакции $q_K(\theta, Z)$ определяется по базовому уравнению [2]; эпюра нагрузки – по данным работ [3, 4]. Решив совместно выражения из [2-4] с уравнениями (4) и выполнив необходимые преобразования, получены следующие функции цели:

по горизонтальным нагрузкам

$$q_{0\max} (0,92 + 0,8\alpha_{1\max} + 0,4\alpha_{2\max} + 0,3\alpha_{3\max}) - \gamma_6 [2,92 - 1,52 \exp(-0,019\sigma_{сж}^0\varphi)] \exp(-0,023\sigma_{сж}^0\varphi) \times \left\{ -0,45 + 0,73r_{II} - (3,85 + 0,66r_{II}) \right\} + \left(1 - 2,4\psi_2^2 - 0,6\psi_2 \right) (\alpha_{1\max} + 0,92_{2\max} + 0,83_{3\max}) \cdot 10^{-3} q_{0\max} \rightarrow 0 \quad (5)$$

при условии $\int_0^{\frac{5}{8}\pi} q_{KZ=0} \cos \theta d\theta = \int_0^{\frac{5}{8}\pi} P_{Z=0} \cos \theta d\theta$;

по вертикальным нагрузкам

$$q_{0\max} (0,62 + 0,43\alpha_{1\max} - 0,26\alpha_{3\max}) - \gamma_6 [1,35 - 0,55 \exp(-0,019\sigma_{сж}^0\varphi)] \exp(-0,023\sigma_{сж}^0\varphi) \times \left\{ -0,45 + 0,73r_{II} - (3,85 + 0,66r_{II}) \right\} + \left(1 - 2,4\psi_2^2 - 0,6\psi_2 \right) (\alpha_{1\max} + 0,92_{2\max} + 0,83_{3\max}) \cdot 10^{-3} q_{0\max} \rightarrow 0 \quad (6)$$

при условии $\int_0^{\frac{5}{8}\pi} q_{KZ=0} \sin \theta d\theta = \int_0^{\frac{5}{8}\pi} P_{Z=0} \sin \theta d\theta$,

где $\alpha_{1_{max}}$, $\alpha_{2_{max}}$, $\alpha_{3_{max}}$ – относительные составляющие, учитывающие неравномерность распределения реакции системы по продольной оси выработки; ψ_1 и ψ_2 – параметры, характеризующие угловые координаты экстремумов в функции распределения реакции подсистемы в поперечном сечении выработки; θ и Z – угловая и продольная координаты поперечного и продольного сечений горной выработки; γ – объемный вес породы; r_a – радиус выработки; r_i – радиус зоны неустойчивого равновесия породы; σ_a^0 и φ – остаточная прочность на одноосное сжатие и угол внутреннего трения породы в зоне неустойчивого равновесия.

Исходя из полученных функций цели, возникает возможность разработки ряда рекомендаций общего характера относительно оптимизации режимов взаимодействия элементов системы «массив – упрочненные породы – крепь». При этом следует отметить также возможность вариации эпюры реакции подсистемы «упрочненные породы – крепь», поскольку количество параметров, описывающих эпюру, значительно превышает количество условий (четыре) по математическим выражениям (5) и (6) функции цели. Такая свобода выбора параметров позволяет оптимизировать напряженное состояние подсистемы «упрочненные породы – крепь» в направлении максимального ресурсосбережения.

Список литературы

1. Гелескул М.Н., Каретников В.Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок. – М.: Недра, 1982. – 479 с.
2. Ковалевская И.А. Расчет нагрузки на крепь выработки и оценка ее достоверности с учетом пространственной системы «горный массив – упрочненные породы – крепь» // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 8. – С. 11-14.
3. Ковалевская И.А. Взаимосвязь нагрузки на подсистему «упрочненные породы – крепь» и ее реакции // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 3. – С.17-20.
4. Ковалевская И.А. Критерии оптимизации факторов формирования нагрузки на подсистему «упрочненные породы – крепь» // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 9. – С.59-62.