*Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXVII, вып. 1, 1975 г.*

# СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Канд. техн. наук *О. В. Тимофеев*
(Ленинградский горный ин-т)

Под устойчивостью горной выработки понимается сохранение в течение заданного промежутка времени необходимых размеров и формы ее поперечного сечения в соответствии с требованиями правил технической эксплуатации и техники безопасности [10]. Устойчивость выработки в целом определяется устойчивостью ее элементов (кровли, боков, подошвы, а в отдельных случаях и торцов). Так как напряжения и смещения пород по контуру сечения выработки обычно неравномерны, а породы неоднородны, условия, приводящие к потере прочности и устойчивости, возникают вначале в одном из элементов выработки, реже в нескольких.

Для оценки устойчивости горной выработки часто используют показатель типа $R_{сж} : \gamma H$. Однако такой показатель не учитывает ряда важных факторов — степени структурного ослабления массива, длительной прочности пород, коэффициентов концентрации напряжений в элементах выработки, обусловленных формой и соотношением размеров ее поперечного сечения и влиянием других выработок. Неудобен такой вид показателя и потому, что его величина уменьшается с повышением степени устойчивости выработки. Предлагается с учетом методики расчета сооружений по предельным состояниям [7] оценивать устойчивость выработки, пользуясь критерием устойчивости в виде

$$П = \frac{p^{н} k_1 k_2 n_{п}}{R^{н} \eta \xi}, \qquad (1)$$

где $p^{н}$ — нормативное напряжение в нетронутом массиве пород, *кг/см²* (компонента, соответствующая рассматриваемому элементу выработки); $k_1$ — расчетный коэффициент концентрации напряжений в элементе выработки вне зоны влияния других выработок ($k_1 \geqslant 1$); $k_2$ — коэффициент изменения напряжений, вызванного влиянием других выработок, который учитывает пригрузку или разгрузку массива ($k_2 \gtrless 1$); $n_{п}$ — коэффициент перегрузки, значение которого согласно [7] можно принять для капитальных выработок — не менее 1,5; для остальных не менее 1,2; $R^{н}$ — нормативное сопротивление породы при одноосном сжатии или растяжении, *кг/см²* (соответственно при наличии сжимающих или растягивающих напряжений в рассматриваемом элементе выработки); $\eta$ и $\xi$ — коэффициенты структурного ослабления и длительной прочности породы.

Нормативное напряжение при нормальном гравитационном поле, согласно современным представлениям, составляет $p^н = 0{,}1\gamma H$, *кг/см*$^2$, где $\gamma$ — объемный вес толщи пород, *т/м*$^3$; $H$ — глубина до поверхности, *м*. Величину нормативного сопротивления следует принимать равной: для пород хрупких — пределу прочности, для упруго-пластичных — пределу текучести. Реологическая характеристика породы, учитываемая коэффициентом длительной прочности, определяется испытанием пород на ползучесть.

Профессор А. П. Максимов [5] выделяет три возможных состояния обнажения пород в выработке: устойчивое, предельное и неустойчивое. Очевидно, что каждому из этих состояний будут соответствовать определенные значения критерия $П$.

Предлагается при расчете по формуле (1) с некоторым запасом считать состояние выработки устойчивым при $П < 1$; предельным при $1 \leqslant П \leqslant n_п$ и неустойчивым при $П > n_п$. Величины критерия $П$ и входящих в него членов при современном состоянии механики горных пород необходимо определять по результатам экспериментов и обязательно сверять с данными натурных наблюдений. По мере накопления фактического материала формула (1) позволит расчетным путем прогнозировать устойчивость горных выработок.

По данным Ю. З. Заславского [4], для условий Донбасса при пологом падении пород капитальные выработки находятся в устойчивом состоянии при величине безразмерного критерия напряженности * $П_н = \gamma H : R_{сж} < 0{,}25$, в предельном состоянии при $П_н = 0{,}25 \div 0{,}4$ и в неустойчивом при $П_н = 0{,}4 \div 0{,}65$. Смещения пород составляют при этом в среднем соответственно: менее 50 *мм*; 150—200 *мм*; 300 *мм* и более.

Если в формуле (1) принять $p^н n_п = \gamma H$; $R^н = R_{сж}$; $k_1 \approx 2{,}5$ (для выработки круглого и арочного сечения); $k_2 = 1$ (вне зоны влияния очистных работ); $\eta\xi = 0{,}60 \div 0{,}65$ и представить критерий устойчивости $П$ через критерий напряженности $П_н = \gamma H : R_{сж} = p^н n_п : R^н$, то для рассматриваемых условий Донбасса получим $П = П_н \dfrac{k_1 k_2}{\eta\xi} = П_н \cdot 4$.

Принимая величину коэффициента перегрузки для капитальной выработки $n_п = 1{,}5$ и пользуясь указанными выше значениями критерия напряженности $П_н$ для устойчивого, предельного и неустойчивого состояний, получим по формуле (1) соответствующие значения критерия устойчивости $П = 1$; $П = 1{,}0 \div 1{,}6$; $П > 1{,}6$. Это свидетельствует о соответствии критериев устойчивости выработки и напряженности пород для рассматриваемого конкретного случая.

Количественные значения показателей устойчивости выработок могут быть в обозримом будущем получены и для других бассейнов и районов страны. Наличие таких данных позволит при проектировании, проведении и эксплуатации выработок применять решения, которые бы обеспечивали надлежащую устойчивость выработок при минимальных затратах.

Выработанные наукой и практикой методы обеспечения устойчивости горных выработок предлагается разделить на три следующие группы: 1) охрана, 2) крепление, 3) поддержание.

Сущность второй группы методов понятна без особых пояснений. Смысл понятий первой и третьей групп необходимо оговорить, поскольку известные их толкования [3, 10] недостаточно четки. Предлагаются следующие определения понятий.

Охрана выработки — совокупность технических мероприятий, направленных на предотвращение потери ее устойчивости путем

---

* Термин предложен нами.

создания благоприятного соотношения между прочностью породы в массиве и ожидаемыми напряжениями в нем.

Поддержание выработки — совокупность технических мероприятий, устраняющих нарушение ее устойчивости в период эксплуатации.

Устойчивость выработки с наибольшим технико-экономическим эффектом обеспечивается, как правило, при комбинировании перечисленных трех методов с учетом конкретной геологической и горнотехнической обстановки. Задача в общем виде сводится к тому, чтобы обеспечить благоприятное соотношение прочности породы и вызванных в ней напряжений. Возможности повышения прочности породы доступными инженерными методами сравнительно невелики. Поэтому главным резервом повышения прочности и устойчивости горных выработок является снижение до необходимого уровня действующих в массиве пород вокруг выработки напряжений.

Предлагаемая классификация методов обеспечения устойчивости выработок наиболее полно охватывает применяемые на практике способы и варианты охраны, крепления и поддержания выработок.

**Охрана выработки.**

1. Рациональное расположение выработки в естественно напряженных зонах массива пород: а) вне зон нарушенных пород и высоких тектонических напряжений; б) вне зон существенного влияния опорного давления или сдвижения, вызванных другими выработками; в) в устойчивых слоях пород; г) вкрест простирания пород.

2. Использование рациональной формы и соотношения размеров поперечного сечения выработки: а) экономичные формы сечения — прямоугольная, трапециевидная и полигональная при относительно прочных породах и допустимых величинах концентрации напряжений на контуре выработки; б) плавно-криволинейные формы сечения (арочная, круглая, овальная) при предельных концентрациях напряжений на контуре.

3. Выбор рациональной площади поперечного сечения выработки: а) эквивалентная замена одной выработки большого сечения двумя или несколькими выработками меньшего сечения с целью использования прогрессивных технологических схем и проходческого оборудования или расположения выработок в пределах устойчивых слоев пород; б) эквивалентная замена нескольких сближенных выработок одной с целью исключения их взаимного влияния и снижения концентрации напряжений.

4. Оставление вокруг выработки целиков и защитных толщ или возведение искусственных полос (столбов): а) предохранительные целики между смежными выработками; б) защитные толщи в кровле и подошве; в) породные полосы; г) столбы и полосы из твердеющих материалов; д) сборные столбы (тумбы) из готовых изделий.

5. Расположение выработки в зонах массива пород с пониженными напряжениями: а) в зоне разгрузки от надработки или подработки; б) в выработанном пространстве позади очистного забоя; в) «вприсечку» к выработанному пространству в разгруженной естественным разрушением зоне массива пород (пласта).

6. Снижение концентрации напряжений в массиве пород вокруг выработки путем применения особой технологии работ (проходки): а) проходки широким забоем; б) двухстадийной проходки; в) гладкоконтурной проходки (комбайнами, контурным взрыванием и т. п.); г) образованием разгрузочных щелей или глубинным разрушением пород взрывным и инъекционным способами; д) дренированием жидкостей и газов из массива пород в зоне влияния выработки.

7. Упрочение окружающего выработку массива пород: а) механическое (крепежные штанги, сваи и пр.); б) инъекционное (цементация, силикатизация); в) электроосмотическое; г) термическое (электросплавление, обжиг, замораживание); д) газодинамическое (уплотнение взрывом).

8. Консервирование (сохранение) свойств горных пород в массиве: а) сохранение отрицательных температур в зонах слабых вечномерзлых пород; б) сохранение естественной влажности глинистых пород.

**Крепление выработки.**

1. Сплошное.
2. Интервальное.
3. Комбинированное.

Варианты крепи: а) по назначению: временная, постоянная; б) по характеру применения: регулярная, местная (локальная); в) по конструкции: монолитная, блочная, панельная, рамная, штанговая; г) по характеру работы: жесткая, податливая; д) по виду материала: деревянная, металлическая, бетонная, армобетонная, каменная, смешанная.

Примечание. Сплошное крепление — непрерывное по длине выработки (монолитная, блочная, сплошные панельная или рамная крепи).

Интервальное крепление — установка несущих элементов крепи с интервалами, обычно ограждаемыми затяжкой различных видов.

Комбинированное крепление — сочетание интервального и сплошного.

**Поддержание выработки.**

1. Частичный ремонт крепи: а) замена отдельных элементов; б) замена отдельных рам или секций крепи.

2. Дополнительное крепление: а) установка дополнительной обычной крепи; б) возведение специальной усиливающей крепи.

3. Перекрепление (замена крепи): а) без расширения выработки; б) с расширением выработки.

4. Подрывка подошвы: а) без крепления; б) с креплением.

5. Искусственное упрочение и консервация массива пород и крепи: а) упрочнение массива пород способами, указанными в п. 7 группы «Охрана выработок»; б) механическое и инъекционное упрочнение крепи; в) тампонаж закрепного пространства; г) нанесение на поверхность пород или крепи защитных покрытий.

6. Снижение местной концентрации напряжений в окружающих выработку породах: а) выравнивание поверхности выработки; б) искусственное разрушение перенапряженных зон; в) дренирование жидкостей и газов из массива пород в зоне влияния выработки.

7. Крепление деформирующихся участков выработки, эксплуатируемой без крепи. Варианты указаны в группе «Крепление выработки».

Из перечисленных методов обеспечения устойчивости горных выработок наиболее сильное воздействие оказывает первый — охрана. При проектировании выработок вначале следует выбрать возможные в конкретных условиях наиболее простые способы и варианты охраны и для них оценить по приведенной выше методике степень устойчивости выработки. При устойчивом и предельном состояниях обнажений пород для выработки выбирают и рассчитывают рациональный вид крепи. При неустойчивом состоянии необходимо принять более эффективный способ охраны с тем, чтобы обеспечить устойчивость выработки при простых и недорогих средствах.

В пределах данной статьи не представляется возможным рассмотреть различные комбинации представленных в классификации методов обеспечения устойчивости выработок. Следует заметить, однако,

что при устойчивом и особенно предельном состояниях пород в выработках важную роль в повышении их устойчивости может играть штанговая крепь, которая при рационально выбранных параметрах обладает четко выраженным свойством упрочнять массив пород в приконтурной зоне в 1,5—2 раза [8].

Большую роль может сыграть также инъекционное упрочнение массива пород (особенно сильнотрещиноватых) и тампонаж закрепного пространства, обеспечивающий одновременное упрочнение зоны разрушенных пород вокруг выработки [1, 2].

Следует при этом иметь в виду, что штанговая крепь и инъекционное упрочнение будут служить надежным средством обеспечения устойчивости горных выработок во многих случаях только при умелом их сочетании с рациональными способами охраны, а иногда и с другими видами крепи.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Бардус А. М. Повышение устойчивости горных выработок способом упрочнения окружающих пород. Шахтное строительство, 1972, № 8.
2. Давыдов В. В. Химический способ укрепления горных пород. Недра, 1965.
3. Заславский Ю. З. Некоторые аспекты крепления капитальных выработок глубоких шахт. Доклад на республиканской конференции по проблеме «Строительство глубоких шахт». ВЦСПС, НТО горное, УССР, 1969.
4. Заславский Ю. З., Стрельцов Е. В. Устойчивость капитальных выработок глубоких шахт. Проектирование и строительство угольных предприятий, 1971, № 6.
5. Максимов А. П. Выдавливание горных пород и устойчивость подземных выработок. Госгортехиздат, 1963.
6. Семевский В. Н. и др. Штанговая крепь. Недра, 1965.
7. СНиП П-М.4-65. Подземные горные выработки предприятий по добыче полезных ископаемых. Нормы проектирования. Стройиздат, 1966.
8. Тимофеев О. В., Конокотов Н. С. Исследование влияния плотности расстановки и натяжения штанг на эффективность упрочнения однородных пород. Известия вузов, Горн. ж., 1972, № 3.
9. Тимофеев О. В., Мордухович М. М. Временное руководство по применению штанговой крепи в подготовительных выработках на шахтах Кузбасса. Изд. ЛГИ, 1971.
10. Указания по терминологии горного давления (проект). Под ред. Б. В. Бокия. Изд. ВНИМИ, 1972.