Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLIX, вып. 1, 1964 г.

УСТОЙЧИВОСТЬ НЕОДНОРОДНЫХ ЦЕЛИКОВ

В. Г. Безкаравайный

На шахтах Прибалтийского сланцевого бассейна в течение нескольких лет проводились широкие промышленные испытания различных вариантов камерной системы разработки. С целью правильного определения параметров системы на шахте № 3 комбината «Сланцы» изучалось проявление горного давления, в частности, исследовалась устойчивость целиков.

Промышленный пласт горючих сланцев общей мощностью 2—3 *м* залегает в условиях бассейна почти горизонтально на глубине 30—100 *м* и состоит из четырех слоев горючего сланца и трех породных прослойков. В кровле и почве пласта известняки переслаиваются с глинистыми и горючими сланцами.

Инструментальные и визуальные наблюдения за деформациями междукамерных целиков проводились на всех участках шахты № 3. Для определения вертикальных деформаций целиков и горизонтальных смещений было установлено свыше 60 реперных станций, на которых вели измерение деформаций как целика в общем, так и отдельных слоев сланца и известняка. Зона трещиноватости целиков и увеличение ее со временем определялись путем регулярных наблюдений и периодической оборкой трещиноватой зоны и измерением глубины распространения трещин.

Напряжения в целиках, возникающие вследствие взрывных работ, выявляли инструментальными замерами с помощью аппаратуры, регистрирующей изменение во времени скорости смещений пород целика. Использовали, в частности, приборы ВИБ-А и переносные осциллографы типа МПО-2 и Н-103. Датчики устанавливали в разных сечениях целика в небольших скважинах диаметром 250—300 *мм*.

Скорости смещений переводили в напряжения по формуле

$$\sigma = \frac{\varrho c v}{g} \quad г/см^2,$$

где ϱc — акустическая жесткость, характеризующая прочность пород через плотность, а упругие свойства через скорость распространения продольной волны в массиве, $г/см^3 \cdot см/сек$;

v — скорость смещения частиц пород, $см/сек$;

g — ускорение силы тяжести, $см/сек^2$.

Исследования напряженного состояния целиков (от статических пригрузок) производились по деформациям пород и сейсмическим методом (по скоростям распространения звуковых волн).

Промышленный пласт сланцев состоит из разных по крепости слоев и включений, поэтому прочность определяли не только по однородным, но и по неоднородным образцам, более полно отражающим структурные особенности пласта в целом. При подготовке образцов к испытаниям тщательно обрабатывали контактные плоскости и обеспечивали естественную влажность.

Образцы испытывали в лаборатории Ленинградского горного института на 50-тонном гидравлическом прессе типа УПМ-50 и 5-тонном прессе Гагарина при автоматической записи передаваемого давления и деформаций. Всего было испытано свыше 200 однородных и неоднородных образцов размерами $5 \times 5 \times 5$ *см*.

Зависимость прочности неоднородных целиков (образцов) от мощности содержащихся в них крепких и слабых прослойков, а также их расположения по высоте, исследовалась с помощью корреляционного анализа, позволившего в математической форме выразить влияние взаимосвязанных факторов. Задача решалась нахождением уравнения множественной регрессии.

Предварительный анализ экспериментальных данных, полученных при исследовании устойчивости неоднородных целиков, выявил следующее.

1. На степень устойчивости целиков существенно влияют факторы: горнотехнические (ширина целиков, пролет камер, взрывные работы и пр.) и горногеологические (механические свойства пород, слоистость, трещиноватость), время службы целиков и пр.

2. Устойчивость целиков достаточно полно характеризуется сравнением: а) фактически возникающих напряжений с допустимыми и разрушающими нагрузками; б) фактических деформаций с деформациями, при которых целики разрушаются.

3. Прочность целиков с включениями и прослойками пород зависит не только от крепости и мощности отдельных слоев, но и от их положения по высоте и характера контактов.

4. При расчетах или проверке прочности целиков необходимо использовать не кубиковое сопротивление пород сжатию — условный предел прочности, а приведенный предел прочности, учитывающий структурные особенности целика в целом и по возможности не зависящий от абсолютных размеров образца, формы его поперечного сечения и условий опыта.

По экспериментальным данным с привлечением методов математической статистики выведены эмпирические формулы для определения приведенного предела прочности (временного сопротивления сжатию) пород с учетом разномодульности, мощности и расположения составляющих целики пород и прослойков.

При крепких прослойках в целиках

$$\sigma_{к} = \sigma_{\text{пр. к}}^{\frac{m}{M}} \left[\sigma_{\text{вм}}^{1-\frac{m}{M}}\right]\left[1 - a\frac{k_{\text{к. к}}}{k_{\text{сер. к}}}\sqrt{\frac{2h}{M}}\right]$$

или

$$\sigma_{к} = \left(\frac{\sigma_{\text{пр. к}}}{\sigma_{\text{вм}}}\right)^{\frac{m}{M}} \sigma_{\text{вм}}\left[1 - a\frac{k_{\text{к. к}}}{k_{\text{сер. к}}}\sqrt{\frac{2h}{M}}\right]. \qquad (1)$$

При слабых прослойках в целиках

$$\sigma_{\text{сл}} = \sigma_{\text{кр. сл}}^{\sqrt{\frac{m}{M}}} \sigma_{\text{вм}}^{1-\sqrt{\frac{m}{M}}}\left[1 + a\frac{k_{\text{к. к}}}{k_{\text{сер. к}}}\sqrt{\frac{2h}{M}}\right]*$$

или (2)

$$\sigma_{\text{сл}} = \left(\frac{\sigma_{\text{кр. сл}}}{\sigma_{\text{вм}}}\right)^{\sqrt{\frac{m}{M}}} \sigma_{\text{вм}}\left[1 + \frac{k_{\text{к. к}}}{k_{\text{сер. к}}}\sqrt{\frac{2h}{M}}\right],*$$

* При вариации опытных данных более 20% формулы (2) можно упростить, приняв многочлен в скобках за единицу (учтя только прочность и мощность пород и прослойков).

где $\sigma_к$ и $\sigma_{сл}$ — приведенный предел прочности пород с крепкими и слабыми прослойками, *кг/см²*;

$\sigma_{пр.к}$ и $\sigma_{пр.сл}$ — удельное сопротивление разрушению пород крепкого и слабого прослойка, *кг/см²*;

$\sigma_{вм}$ — удельное сопротивление разрушению пород целика, *кг/см²*;

M — мощность образца (целика), *см*;

m — мощность прослойка, *см*;

h — положение прослойка относительно середины образца, *см*;

$k_{сер.к}$ и $k_{к.к}$ — коэффициент увеличения прочности при расположении крепкого прослойка посередине и сверху или снизу, *кг/см²*;

$k_{сер.сл}$ и $k_{к.сл}$ — коэффициент снижения прочности при расположении слабого прослойка посередине и сверху или снизу, *кг/см²*;

a — постоянный коэффициент для рассматриваемых пород, $a = 0{,}105$.

Выражения (1) характерны для целиков сложного строения, основная масса пород которых ($\sigma_{сж} = 160—320$ *кг/см²*) слабее, чем более крепких прослойков ($\sigma_{сж} = 400—720$ *кг/см²*); а выражения (2) — для целиков, сложенных более прочными породами ($\sigma_{сж} = 100—720$ *кг/см²*) с включениями более слабых прослойков ($\sigma_{сж} = 50—320$ *кг/см²*).

Специальными исследованиями установлено, что в результате взрывных работ в боковых стенках целиков возникают растягивающие напряжения, составляющие: в 10—15 *см* от заряда 850—1000 *кг/см²*, в 25—30 *см* 120—150 *кг/см²*, в 150—200 *см* 22—30 *кг/см²*, в 250—300 *см* 15—20 *кг/см²*.

Зачатки трещин начинают появляться при разрушающих напряжениях 15—20 *кг/см²*, а интенсивное трещинообразование возникает при напряжениях 120—150 *кг/см²*.

Окраинные части целиков со временем заметно разрушаются и осыпаются. Активная зона влияния взрывных работ распространяется в глубь целика: сразу после нарезки целиков на 20—30 *см*, после 2—3 месяцев на 35—40 *см*, спустя 5—6 месяцев на 40—50 *см*, после года и более на 55—60 *см*.

Общая полезная ширина целиков с учетом совместного влияния давления вышележащих пород, взрывных работ и времени уменьшается на 1—1,2 *м*.

Определив количественно ослабление пород целиков трещиноватостью, можно оценить возможное уменьшение полезного сечения целиков, а соответственно и уменьшение их устойчивости.

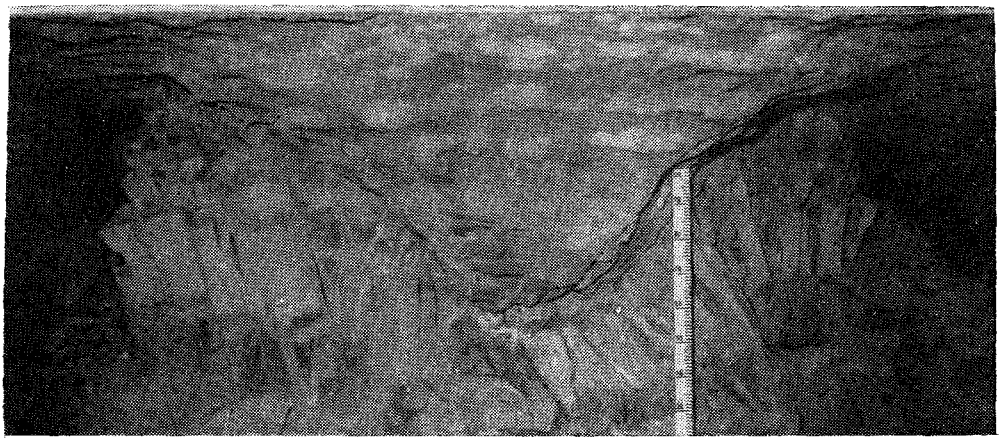
Прочность неоднородных целиков может значительно снижаться по сравнению с однородными также за счет зон, ослабленных естественной трещиноватостью (в условиях сланцев при обводнении трещин и отсутствии связи по ним). Ориентировочно расчет целиков можно рекомендовать в таких случаях вести по ширине и высоте каждой из частей, разделенных трещинами, с учетом возможного перераспределения напряжений, используя коэффициент Церна. В обычных условиях сланцевых шахт тектонические трещины (сухие), секущие пласт по вертикали (при сцеплении по контактам), существенно не сказываются на устойчивости целиков.

Изучение в шахтных и лабораторных условиях влияния фактора времени показало, что наиболее интенсивно целики деформируются в течение 1—2 месяцев после образования. Общая деформация за этот срок составляет более 50% от общей деформации за два последующих года. Вертикальные деформации целиков проявляются в течение длительного срока (более года) и постепенно затухают. Величина их составляет не более 20—40% от разрушающих нагрузок. При длительных нагрузках

(6—7 месяцев), составляющих 30—70% от средних разрушающих ($\sigma_{сж}$), сланцы упрочняются — образцы разрушаются при напряжениях, значительно превышающих $\sigma_{сж}$ (на 30—35%).

Длительные нагрузки, составляющие 80% и более от средних разрушающих, вызывают раздавливание образцов при нагрузках меньше критических. Предел долговременной прочности сланцев составляет ориентировочно 80%.

Лабораторными опытами выявлено, что увеличение влажности с 4—5 до 7—10% снижает прочность образцов на 10—12% и до 14—16% — на 30—35%. Дальнейшее увеличение влажности снижает прочность сланца на 40% и более.



Общий вид разрушенного целика.

Наблюдения за деформациями целиков разной ширины в шахтных условиях и сопоставление их с результатами испытаний образцов в лаборатории дали удовлетворительное совпадение. Максимальные вертикальные деформации, наблюдаемые после образования целиков, равны соответственно для камер и камер-лав, 8—10 и 12—16 *мм*, а после отработки блока 12—16 и 20—23 *мм*, что составляет не более 20—35% от разрушающих нагрузок.

Предельные относительные деформации отдельных слоев промышленного пласта, замеренные в шахтных условиях, близки к деформациям, при которых происходит разрушение образцов соответствующих пород. По данным наблюдений, трещины начинают образовываться при общей деформации целиков 90—100 *мм*. Разрушение целиков возникает при деформациях 200 *мм* и более, причем известняк и сланец второго слоя, расположенные в средней по высоте части целика, разрушаются в первую очередь. Сланец же первого слоя в верхней части целика держится в виде клина, опирающегося на фактически разрушенные среднюю и нижнюю части целика (см. рисунок).

Выводы

1. Прочность целиков (образцов) с прослойками или включениями зависит не только от крепости и мощности составляющих слоев, но и от их расположения по сечению и прочности контактов.

2. Прослойки более крепких пород существенно увеличивают прочность целиков (образцов). Так, содержание в промышленном пласте крепких прослойков (свыше 30% от общей мощности) увеличивало прочность целиков на 45—55%.

3. Прослойки более слабых пород существенно снижают прочность целиков (образцов). Наибольшее снижение прочности (до 60%) отмечено при водонасыщенных глинистых прослойках прочностью менее 50 *кг/см*^{2}.

4. В условиях сланцевых шахт Прибалтийского бассейна расчет неоднородных целиков по самому слабому первому слою сланца значительно занижает несущую способность целиков.

5. Средние разрушающие напряжения, определенные при испытаниях неоднородных образцов, близки к пределу прочности пород целиков и достаточно полно отражают натурные условия.

6. В обычных для сланцевых шахт условиях прочность целика в целом характеризует приведенный предел прочности ($\sigma_{сж} = 320$ *кг/см*^{2}), рассчитанный по выражению (1) с учетом данных испытаний отдельных пачек и включений.

7. Расчетную ширину целиков необходимо увеличивать до размера зоны активного влияния взрывных работ (в условиях сланцевых шахт на 1—1,2 *м*).

8. Ширина целиков, обеспечивающая безопасность горных работ (коэффициент запаса 2—3), рассчитанная с учетом структурных особенностей промышленного пласта и влияния взрывных работ, составляет: для камер (камерная система разработки) 3 *м*, для камер-лав (комбинированная система разработки) 5,5 *м*.