

А.А. Привалов, В.А. Хакулов, В.В. Попов, Ф.И. Ягодкин

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИКОНТУРНОМ МАССИВЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Предложенная методика мониторинга позволяет определять зону разрушения пород в приконтурных породах. Устанавливает влияние анкерной крепи, на размер зоны расслоившихся пород в кровле выработок, а также определять несущую способность грузонесущих породных блок в зоне расслоения пород и их толщину. Определять тип и конструкцию анкеров, для подвески и сшивки разрушенных пород анкерной крепью.

Ключевые слова: породная балка, массив, расслоение, выработка, анкерная крепь.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-212-218

Наметившиеся тенденции по увеличению глубины разработки угольных месторождений, невысокой прочности пород требуют применения крепи с высокой несущей способностью и достаточной податливостью. Кроме того, в связи с доминирующим применением анкерной крепи для крепления выработок, в том числе повторно используемых, требует совершенствования технология крепления выработок анкерной крепью. До недавнего времени затраты на проведение выемочных выработок были достаточно велики и составляли более 15–20% от себестоимости добычи [1]. При этом не учтены затраты на безремонтное подержание выемочных выработок. Одним из рациональных путей улучшения состояния выработок и экономии материальных ресурсов является применение анкерной крепи различных типов и постоянного мониторинга. В результате мониторинга нужно использовать возможность снижать стоимость проводимых и охраняемых выработок. В работе [2] применена обратная связь, изучены харак-

тер, условия развития системы трещиноватости до зон расслоений влияющих на работоспособность анкерной крепи, что позволяет сохранять эксплуатационные параметры выработок. Однако при изучении состояния не всегда состояние особенно выемочных выработок можно считать удовлетворительным. Слабым звеном в креплении анкерной крепью является недостаточная изученность процессов в приконтурной зоне в период проведения выработок.

Для проведения изучений выбраны условия для оценки влияния следующих факторов:

- физико-механических свойств пород;
- углов внутреннего трения в интервале от 40° до 15°;
- напряженно-деформированного состояния массива и его влияния на параметры крепи.

Горные породы, залегающие на некоторой глубине от поверхности, находятся в напряженном состоянии, которое вызвано нагрузкой (весом) вышележащих пород. Напряженное состояние в

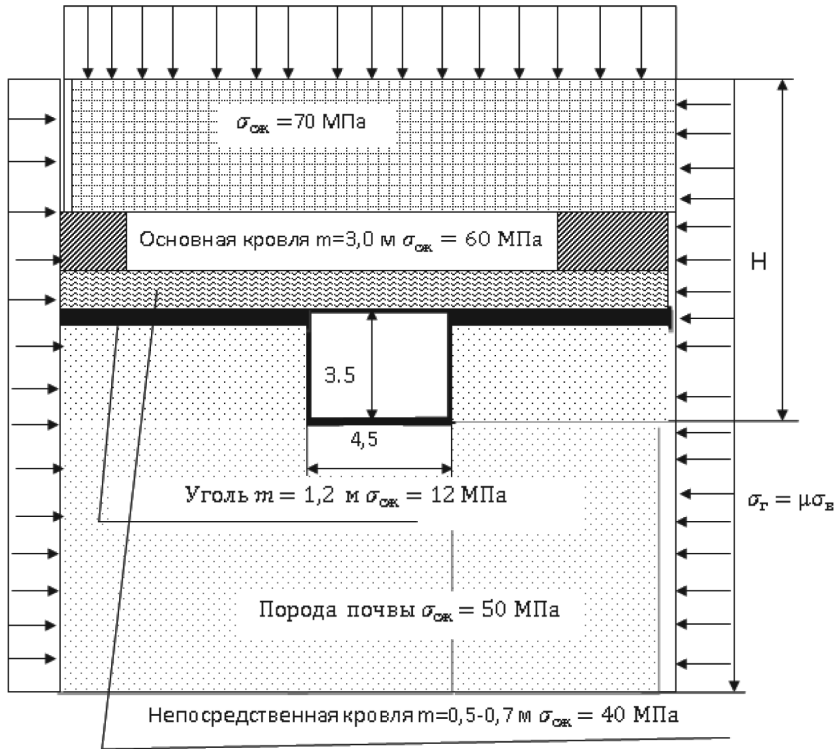


Рис. 1. Расчетная схема для определения компонент напряжений в массиве

любой точке нетронутого массива определяется вертикальной компонентой σ_v и горизонтальной компонентой σ_r . Направление действия компонент представлено на рис. 1

Вертикальная компонента приравнивается к удельному весу вышележащих пород и определяется по выражению:

$$\sigma_v = \rho_{cp} \cdot g \cdot H,$$

где ρ_{cp} — средняя объемная плотность пород; g — ускорение свободного падения; H — расстояние от поверхности до рассматриваемой точки.

Горизонтальная компонента определяется по выражению

$$\sigma_r = \sigma_v = \beta \gamma H,$$

где β — коэффициент бокового распора; γ — удельный вес горной породы.

Предположив, что массив пород работает упруго с момента его деформирования то β можно определять по выражению, которое приведено в работе [3].

$$\beta = \nu / (1 - \nu),$$

где ν — коэффициент Пуассона.

Для проведения исследований горного массива должны быть известны связи между напряжениями и деформациями. Исследуемая область разбивается на элементарные треугольники. При этом предполагается, что компоненты напряжений и деформаций в исследуемой области примерно постоянны.

Свойства горных пород определяют модулем упругости E , а также коэффициентом Пуассона, пределами прочности пород, коэффициентами внутреннего трения φ , модулем сдвига G , коэффициентом снижения прочности пород после разрушения.

До настоящего времени исследователей нет единого мнения по вопросу разрушения на контактах слоев. Одни исследователи считают, что разрушение пород происходит за счет проскальзыва-

Наименование горных пород и характер их трещиноватости

Группа пород	Характер трещин	Значение сцепления, МПа
Поверхности скольжения по контактам слоев	дислоцированная осадочная толща	0,02–0,05
	неуплотненная недислоцированная слаборасланцованная осадочная толща	50% сцепления под углом к напластованию
Контакты слоев	уплотненная слаборассланцовая осадочная толща	0,1–0,18
Контакты слоев	метаморфизированная осадочная толща	0,05–0,01
Сплошные неровные трещины и тектонические нарушения	массивы изверженных и метаморфических пород	0,05–0,01

вания, а другие за счет отрыва слоев, когда силы сцепления превысят касательные напряжения τ_{xy} . В работе [4–5] расчетные нагрузки между слоями в зоне пропластка будут на порядки меньше, чем в других и они практически не повлияют на напряженно-деформированное состояние массива. Шахтные измерения на замерных станциях показали, что в начале процесса разрушения наблюдается проскальзывание слоев горной породы и только затем происходит ее разрыв.

В связи с тем, что вначале происходит проскальзывание пород, область разрушенных пород определялась по уравнению, приведенному в работе [6]

$$|\tau_{xy}| \geq \sigma_y \cdot \operatorname{tg} \varphi + K \quad (1)$$

где K — величина сцепления по контактам слоев.

Подставляя в уравнение (1) значение величин $\sigma(y)$ и τ_{xy} , определив границы зон расслоения, строятся зависимости высоты зон расслоения от физико-механических свойств пород для углов внутреннего трения в интервале от 40° до 15° . Исходные данные для построения зависимости приведены в таблице.

Приведенные расчеты показали, что на высоту расслоившихся пород наибольшее влияние оказывает угол внутреннего трения. Значительно меньшее влияние на высоту расслоившихся пород оказывает сила сцепления на контактах. Также на высоту расслоения в немаловажной степени играет мощность угольного пласта. Это подтверждается зависимостями, приведенными на рис. 2. Проведенные расчеты подтверждаются высокой сходимостью замеров и расчетов других исследователей [7].

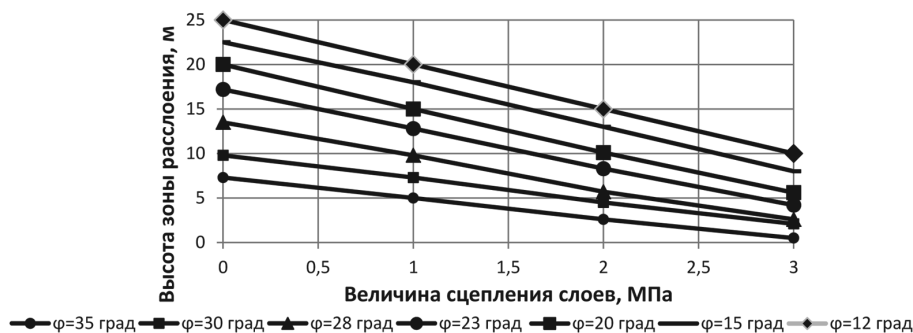


Рис. 2. Зависимость высоты зоны расслоения горных пород от ее физико-механических свойств

Результаты расчета высоты расслоения горных пород

Результаты, полученные в данной работе наиболее актуальны ввиду того, что в настоящий период времени выработки крепятся анкерной крепью. Более пятидесяти лет (до 2000 г.) анкера имели длину 1,8–2,0 м. Теперь применяется анкера, имеющие длину 6 м и это не предел. Это обстоятельство объясняется тем, что приобретая новые знания в области геомеханических процессов, и применяя новые гибкие анкера, анкерное крепление стало применяться и в повторно используемых выработках. Перемещение горных пород вначале происходит в приконтурной зоне массива пород. Нагрузки от них воспринимаются крепью.

Перемещение пород на удалении от выработки сдерживаются несущей породной конструкцией вокруг выработки. Значительная роль деформирования пород в этой зоне определяется выбором типа крепи и ее параметров. Крепь в разной степени принимает участие в формировании размеров зон неупругих деформаций. Применение анкерной крепи позволяет снизить долю горнотехнических условий при формировании зон неупругих деформаций, т.к. анкерная крепь, установленная вслед за продвижением забоя выработки, влияет на образование зон расслоения горных пород. Основной закономерностью геомеханических процессов при проведении выработки является изменение напряженно-деформированного состояния вокруг нее.

Для установления влияния анкерной крепи на высоту зоны разрушения расчетным путем, как свидетельствует опыт многих исследователей, необходимо достоверно определить механическую характеристику массива.

В теоретических и экспериментальных исследованиях слоистой кровли до настоящего времени выделяют три на-

правления. Исследователи первого направления [8] считают, что отсутствует сцепление на поверхности слоями. Исследователи второго направления [9] считают, что залегающие в кровле выработки слои имеют различные механические свойства. Исследователи третьего направления считают, что слоистые породы рассматриваются как единая конструкция [10–11].

Шахтные и аналитические исследования позволили исследователям создать несколько теорий, направленных на формирование грузонесущей составной балки. При этом нет единого мнения о закреплении концов балки.

В работе [12–13] приведены зависимости по определению прогибов породных балок трех типов. В результате продолжения расчетов прогибов и толщины породных балок получены универсальные зависимости толщины однослойных балок.

$$U_{\max} = 0,47 \frac{\rho_{\text{ср}} \cdot g \cdot H \cdot l}{E \cdot t^3} \quad (2)$$

$$t_{\min} \geq \sqrt[3]{\frac{0,47 \cdot \rho_{\text{п}} \cdot g \cdot H \cdot l}{E \cdot |U_{\max}|}} \quad (3)$$

где $\rho_{\text{ср}}$ — плотность горной породы, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с²; E — модуль упругости, Па; H — глубина заложения выработки, м; l — пролет балки, м⁴; t — толщина породной балки, м.

Анализ результатов расчета значения по формулам показал, что величина максимальных прогибов в зависимости от способа закрепления концов породных балок может колебаться от 1,5 до 4 раз.

Первичное разрушение пород по результатам анализа возможно по поверхностям напластования от собственного веса. Оно происходит при условии незначительного сцепления между слоями пород (по зеркалам скольжения) или косесекущей трещиноватости массива на

участках тектонических нарушений. Разрушение от сжатия пород над выработкой за счет горизонтальных напряжений или от сдвига в боках выработки возможно лишь на больших глубинах [14]. При первичной стадии нижний слой пород кровли расслаивается и провисает.

Уточненная зависимость толщины и максимального прогиба для многослойных породных балок получена в результате моделирования и представлена ниже.

$$U_{max} = 0,0051 \cdot e^{-0,008 \cdot n} \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot L^4}{E \cdot t^3}$$

где n — число слоев породной балки, $n \geq 2$; t — толщина одного слоя, м; L — пролет выработки, м.

Заключение

Предложенная методика мониторинга позволяет определять структуру, образовавшуюся в зоне разрушения пород в приконтурных породах, а также определить тип и конструкцию анкеров, для подвески разрушенных пород. Методика позволяет в соответствии уравнений (2), (3) определить несущую способность грузонесущих породных блоков в кровле выработок. В методике учитывается, что анкерная крепь уменьшает толщину породной кровельной балки на 5–10% при креплении замковыми анкерами, при креплении сталеполлимерной крепью толщина балки уменьшается на 15–25%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демин В. Ф., Немова Н. А., Демина Т. В. Аналитическое моделирование геомеханических процессов в приконтурном массиве горных выработок // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. — 2015. — Т. 8. — № 1. — С. 74–97.
2. Бахтин Е. В. Кузьмин С. В. Мешков С. А. Мониторинг структуры пород кровли и состояния крепления капитальных и подготовительных горных выработок на шахтах ОАО СУЭК — Кузбасс // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — СВ 7. Промышленная безопасность минерально-сырьевого комплекса в XXI веке. — С. 459–470.
3. Louchnikov V. N., Eremenko V. A., Sandy M. P. Ground support liners for underground mines: energy absorption capacities and costs // Eurasian Mining. — 2014. — № 1.
4. Eremenko V. A., Neguritsa D. L. Efficient and active monitoring of stresses and strains in rock masses // Eurasian Mining. — 2016. — № 1.
5. Бейсембаев К. М. Шманов М. Н. Шарипов Р. Особенности перекрытия горных выработок оболочковыми конструкциями // Международный журнал экспериментального образования. — 2014. — № 1–2. — С. 109–113.
6. Кузнецов С. Т. О направлениях совершенствования механизированных крепей и приемов активного управления кровлей при их применении. — М.: ЦНИЭуголь, 1970. — 154 с.
7. Хаимова—Малькова Р. И., Привалов А. А. Определение зон обрушения пород в комплексно-механизированных очистных забоях / Реферат на картах. ЦНИЭИуголь. — М., 1987. — Вып. 2. — № 36.
8. Привалов А. А., Бондаренко А. И. Модель определения размеров зоны разрушения породы при взрыве шпурового заряда / Совершенствование разработки угольных месторождений: сборник научных трудов. — Шахты, 1994. — С. 97–100.
9. Кузнецов Г. Н. Исследование деформаций и давлений возникающих в многослойной консоли крепи и взаимодействия с крепью / Горная геомеханика и маркшейдерское дело. Труды ВНИМИ. — 1980. — сб. 34. — С. 3–43.
10. Bucher R., Cala M., Zimmermann A., Balg C., Roth A. Large scale field tests of hightensile steel wire mesh in combination with dynamic rock bolts subjected to rock burst loading / 7th Int. Symp. on Ground Support in Mining and Underground construction. — Australia, 2013. — Pp. 56–64.
11. Fiscor S. Roof bolting technology // Coal Age. — 2012. — V. 117. — № 5. — Pp. 26–30
12. Привалов А. А., Бондаренко А. И. Модель определения размеров зоны разрушения породы при взрыве шпурового заряда / Совершенствование разработки угольных месторождений: сборник научных трудов. — Шахты, 1994. — С. 97–100.

13. Привалов А. А., Шемшуров Б. А. Исследование грузонесущей балки для определения параметров анкерной крепи / Современные проблемы науки и техники в горной промышленности. Сборник научных трудов ЮРГТУ. — Новочеркасск, 2000. — С. 156—162.

14. Ардашев К. А., Зайденварг В. Е., Бурчатский В. М. Обоснование и расчет анкерной крепи для поддержания выработок в условиях интенсивного горного давления / Горное давление: горные удары и сдвигание массива. Сборник научных трудов ВНИМИ. — СПб., 1994. — С. 33—43. **VIAS**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Привалов Александр Алексеевич¹ — доктор технических наук, профессор, e-mail: Priv.AA@yandex.ru,

Хакулов Виктор Алексеевич — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,

Попов Виктор Владимирович¹ — доктор технических наук, профессор,

Ягодкин Феликс Игнатьевич¹ — доктор технических наук, профессор,

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 8, pp. 212–218.

UDC 622.831

A. A. Privalov, V. A. Khakulov, V. V. Popov, F. I. Yagodkin

GEOMECHANICAL PROCESSES IN ROCK MASS ADJACENT TO MINE WORKINGS

The proposed method of monitoring allows to determine the zone of fracture rocks in the marginal rocks. Sets the effect of roof bolting, the size of the area of laminated rocks in the roof of the workings, and to determine the bearing capacity of load-bearing rock unit in the area of the stratification of rocks and their thickness. To determine the type and design of anchors for suspension and cross-linking of destroyed rock anchoring.

Key words: pedigree beam, array, bundle, excavation, rock bolts.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-212-218

AUTHORS

Privalov A.A.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: Priv.AA@yandex.ru,

Khakulov V.A., Doktor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair,
Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov,
360004, North Caucasian Federal district,
Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Russia,

Popov V.V.¹, Doktor of Technical Sciences, Professor,

Yagodkin F.I.¹, Doktor of Technical Sciences, Professor,

¹ M.I. Platonov South-Russian State Polytechnic University (NPI),
346428, Novocherkassk, Russia.

REFERENCES

1. Demin V.F., Nemova N.A., Demina T.V. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*. 2015, vol. 8, no 1, pp. 74–97.

2. Bakhtin E.V., Kuz'min S.V., Meshkov S.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015. Special edition 7, pp. 459–470.

3. Louchnikov V.N., Eremenko V.A., Sandy M.P. Ground support liners for underground mines: energy absorption capacities and costs. *Eurasian Mining*. 2014, no 1.
4. Eremenko V.A., Neguritsa D.L. Efficient and active monitoring of stresses and strains in rock masses. *Eurasian Mining*. 2016, no 1.
5. Beysembaev K.M. Shmanov M.N. Sharipov R. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*. 2014, no 1–2, pp. 109–113.
6. Kuznetsov S.T. *O napravleniyakh sovershenstvovaniya mekhanizirovannykh krepey i priemov aktivnogo upravleniya krovley pri ikh primenenii* (On the directions of the improvement of powered roof supports and techniques of active management of the roof when applied), Moscow, TsNIEugol', 1970, 154 p.
7. Khaimova—Mal'kova R.I., Privalov A.A. *Referat na kartakh. TsNIEugol'* (Essay on card Tsnieugol'), Moscow, 1987, issue 2, no 36.
8. Privalov A.A., Bondarenko A.I. *Sovershenstvovanie razrabotki ugol'nykh mestorozhdeniy: sbornik nauchnykh trudov* (Improving coal mining: collection of scientific papers). Shakhty, 1994, pp. 97–100.
9. Kuznetsov G.N. *Gornaya geomekhanika i marksheyderskoe delo. Trudy VNIMI, t. 34* (Mining geomechanics and mine surveying. The works of VNIMI, vol. 34). 1980, vol. 34, pp. 3–43.
10. Bucher R., Cala M., Zimmermann A., Balg C., Roth A. Large scale field tests of hightensile steel wire mesh in combination with dynamic rock bolts subjected to rock burst loading. *7th Int. Symp. on Ground Support in Mining and Underground construction*. Australia, 2013, pp. 56–64.
11. Fiscor S. Roof bolting technology. *Coal Age*. 2012. V. 117, no 5, pp. 26–30
12. Privalov A.A., Bondarenko A.I. *Sovershenstvovanie razrabotki ugol'nykh mestorozhdeniy: sbornik nauchnykh trudov* (Improving coal mining: collection of scientific papers). Shakhty, 1994, pp. 97–100.
13. Privalov A.A. Shemshura B.A. *Sovremennyye problemy nauki i tekhniki v gornoy promyshlennosti: sbornik nauchnykh trudov* (Modern problems of science and technology in the mining industry: collection of scientific works YuRGU). Novocheboksinsk, 2000, pp. 156–162.
14. Ardashev K.A., Zaydenvarg V.E., Burchatskiy V.M. *Gornoe davlenie, gornye udary i sdvizhenie massiva: sbornik nauchnykh trudov VNIMI* (Mining pressure rock bump and displacement array: collection of scientific works), Saint-Petersburg, 1994, pp. 33–43.



**ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ
(СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)**

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ
ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫМ ТОРМОЗОМ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН
(2017, № 6, СВ 11, 8 с.)**

Малиновский Анатолий Кузьмич — доктор технических наук, профессор,
МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: ud@msmu.ru.

Приведены результаты исследования режима предохранительного торможения шахтных подъемных машин и даны рекомендации по применению режима одновременного действия двух тормозов (механического и электрического), позволяющего повысить эффективность аварийной остановки.

Ключевые слова: шахтная подъемная машина, режим одновременного действия, динамическое торможение, тормозная колодка, ресурс, износ.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT METHODS
OF CONTROL SAFETY BRAKE OF MINE HOIST MACHINES**

Malinovskiy A.K., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: ud@msmu.ru.

The results of the study mode of the safety braking of mine lifting machines and recommendations on the application of the mode of simultaneous action of the two brakes (mechanical and electrical), allowing to increase the efficiency of emergency stopping.

Key words: mine hoisting machine, the mode of simultaneous action, dynamic brake, brake pad, resource, wear.