УДК 622.831

**И.А. Ермакова, Н.Н. Пириева**

# АНАЛИЗ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ НА ШАХТЕ ИМ. А.Д. РУБАНА

Для оценки возможности выемки предохранительных целиков проводится анализ их геомеханического состояния на примере шахты им. А.Д. Рубана. Горно-геологические и горнотехнические условия разработки угля на этой шахте являются типовыми для месторождений Ленинско-Кузнецкого и Беловского районов Кузбасса. Сформулирована постановка задачи по расчету напряженно-деформированного состояния предохранительных целиков. Методом конечных элементов проведены расчеты напряженного состояния предохранительного целика под уклоны, как наиболее общего объекта, включающего в себя все возможные горно-геологические и горнотехнические ситуации. Выявлены зоны целика, которые потеряли несущую способность и разрушились. Получено распределение вертикальных смещений кровли на контакте с целиком после полной отработки лав. Анализ выполненных геомеханических расчетов с учетом прочностного фактора позволил сделать вывод о технологической целесообразности выемки предохранительных целиков.

Ключевые слова: напряженное состояние, прочность, метод конечных элементов, угольный предохранительный целик.

Технология добычи угля на шахтах, в большинстве случаев, связана с потерями угля, например (рис. 1):

- в предохранительных целиках под объектами на поверхности и в шахте;
- в барьерных целиках;
- в целиках под капитальными горными выработками;
- в целиках под наносами, которые нецелесообразны к отработке;
- проектными и эксплуатационными потерями, связанными с системой разработки и технологией ведения горных работ.

Для увеличения эффективности подземной отработки угольных месторождений большое значение имеет решение проблемы извлечения предохранительных целиков, предназначение

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 7. С. 193–199.
© 2016. И.А. Ермакова, Н.Н. Пириева.

которых потеряло актуальность. В связи с этим, оценка их напряженно-деформированного и прочностного состояния для обоснования способа выемки является актуальной задачей. В частности, на шахтах «СУЭК» существует практика проведения двух-трех фланговых уклонов, что приводит к оставлению общего целика значительных размеров, в котором находятся эти выработки. Так, например, целики под фланговые конвейерные и путевые уклоны на пласте «Байкаимский» шахты им. А.Д. Рубана имеют общий размер 225×950 м с оценочными запасами 900 тыс. т (см. рис. 1).

Для оценки напряженно-деформированного и прочностного состояния пород при подземной разработке месторождений полезных ископаемых используются аналитические и численные методы механики деформируемого твердого тела.

Для широко применяемой в настоящее время методики расчета опорного давления на краевую часть пласта (целика) используются результаты, полученные И.М. Петуховым и А.М. Линьковым в 1972 г. [1]. По ней производится расчет расстояния до точки максимума опорного давления $x_{max}$ и максимальных напряжений $\sigma_{max}$. Длина зоны опорного давления определяется по номограмме, используемой в [2], в зависимости от мощности пласта и глубины разработки. К достоинствам данной методики следует отнести простоту нахождения параметров

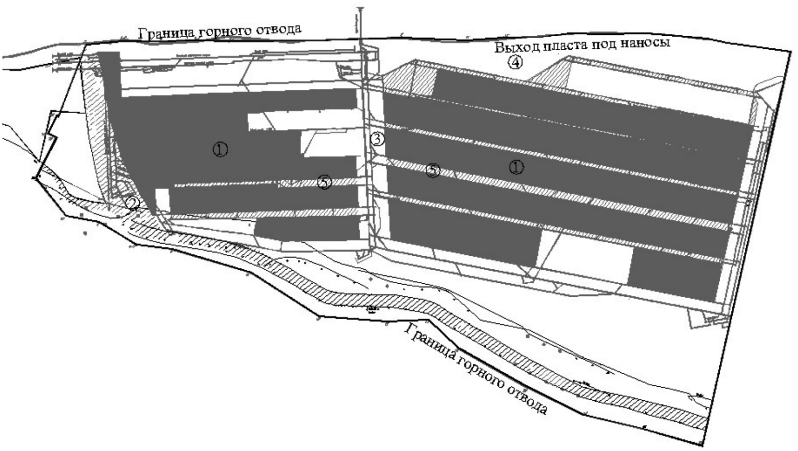


*Рис. 1. План горных выработок по пласту «Байкаимский» шахты им. А.Д. Рубана:* 1 – отработанное пространство (лавы); 2 – целик под объектами на поверхности и в шахте; 3 – целик под капитальными горными выработками; 4 – запасы под наносами; 5 – межлавные целики

опорного давления по приближенным формулам и номограмме. Недостатком методики является приблизительный, оценочный результат расчета, не соответствующий значениям параметров опорного значения в реальных условиях.

Наиболее полно конкретную геомеханическую ситуацию позволяет описать численный метод геомеханики – метод конечных элементов (МКЭ). Именно он позволяет учесть блочность массива горных пород и его неоднородность по деформационным и прочностным параметрам [3].

Напряженное состояние массива горных пород с геологическими нарушениями вокруг очистных выработок было изучено В.М. Курленей, В.М. Серяковым, А.А. Еременко, которые развили метод моделирования механического поведения геологических нарушений упругопластической средой [4]. Для моделирования объемных геомеханических объектов в масштабах месторождений МКЭ получил развитие в работах В.Н. Фрянова, Л.Д. Павловой, которые учитывают геологическую структуру массива горных пород, а также взаимовлияние горных выработок [5].

В данной работе расчеты напряженно-деформированного состояния предохранительного целика в области фланговых уклонов (рис. 2) проводилось методом конечных элементов с помощью лицензионной программы «ELCUT-профессионал».

Число узлов сетки конечных элементов для необходимой точности расчетов принято 143 614, со сгущением элементов в окрестности целика. Принятые размеры расчетной области составляли 800 м по горизонтали и вертикали. Целик по пласту Байкаимский мощностью 2,7 м залегает на глубине 211 м. Ширина целика составляла 237 м.

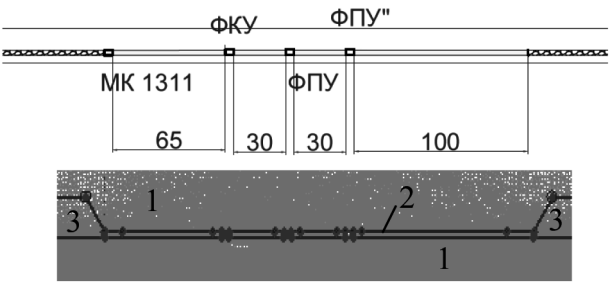


*Рис. 2. Сечение пласта в области фланговых уклонов и часть расчетной области*: 1 – вмещающие породы; 2 – угольный целик; 3 – обрушенные породы

Постановка задачи сводилась к следующему.

Вмещающие породы *1*, угольный целик *2* и обрушенные породы в выработанных пространствах, прилегающих к целику *3*, принимались линейно-деформируемыми породами. Модули линейной деформации для них были заданы: $10^4$, $10^3$, $10^2$ МПа, модули поперечных деформаций: 0,25; 0,25; 0,3 соответственно. Эти блоки расчетной схемы нагружены собственным весом в соответствии с их плотностями и составляли 25000 Н/м$^3$, 14000 Н/м$^3$, 20000 Н/м$^3$ для вмещающих пород, угольного целика и обрушенных пород.

Граничные условия:

• на верхней границе (дневная поверхность свободная от нагрузок) нормальные и касательные напряжения равны нулю;

• на левой и правой границе расчетной области, удаленных от целика на 300 м, горизонтальные перемещения и касательные напряжения отсутствуют;

• на нижней границе, удаленной от целика на 600 м, вертикальные перемещения и касательные напряжения также отсутствуют.

В результате расчетов были получены: распределения вертикальных, горизонтальных и касательных напряжений во всей области; графики этих напряжений, а также вертикальных перемещений на линии контакта целика с кровлей пласта; рас-

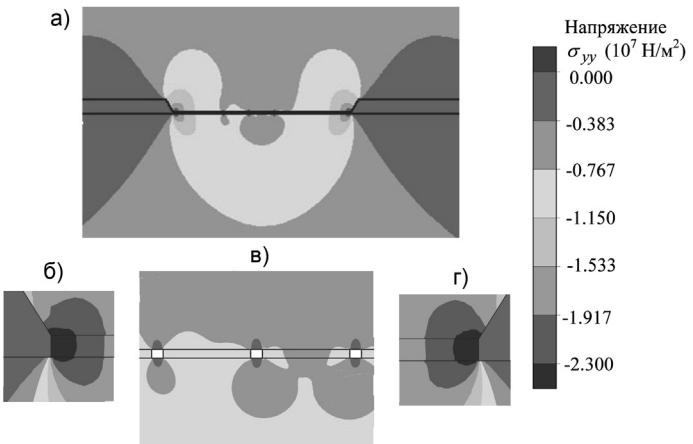


*Рис. 3. Распределение вертикальных напряжений: в пласте, целике и обрушенных породах выработанного пространства (а); на границе целика с выработанным пространством слева (б) и справа (г); в окрестностях выработок (в)*

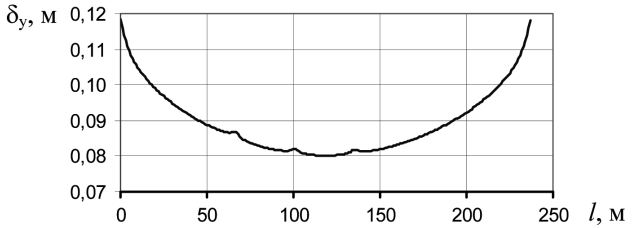


*Рис. 4. Распределение вертикальных смещений кровли на контакте с целиком*

пределение значений критерия прочности Кулона-Мора.

Распределения вертикальных напряжений $\sigma_{yy}$ (горного давления) показано на рис. 3. Здесь сжимающие напряжения приняты отрицательными, а растягивающие – положительными.

Анализ рис. 3 показывает, что наибольшие вертикальные напряжения в целике сосредоточены на границах с выработанным пространством. В соответствии с [7] прочность угольного пласта, находящегося в состоянии объемной деформации определяется по следующей формуле:

$$\sigma_{пл}^{сж} = \gamma H + \sigma_{сж},$$

где $H$ – глубина разработки, $\gamma$ – удельный вес пород кровли, $\sigma_{сж}$ – прочность угля на одноосное сжатие.

В рассматриваемых условиях данные величины имели следующие значения: $H$ = 211м, $\gamma$ = 25 000 н/м$^3$, $\sigma_{сж}$ = 17,7 МПа. Тогда прочность угольного целика на объемное сжатие составляет 23 МПа.

Зоны, в которых МПа показаны фиолетовым цветом, и в них угольный целик потерял свою несущую способность, разрушился и не подлежит выемке. Ширина этих зон составляет 3,6 м на левой границе и 3,5 м на правой границе целика, что следует учитывать при планировании выемки целика.

На рис. 4 показано распределение вертикальных смещений $\delta_y$ кровли на контакте с целиком после полной отработки лав. Наибольшие значения $\delta_y$ наблюдаются у границ целика с обрушенным пространством, достигая 120 мм; а наименьшие – в центре целика, до 80 мм. При этом наличие выработок обуславливает дополнительные смещения до 3 мм.

**Выводы**

1. Для рассмотренных горно-геологических и горнотехнических условий предохранительного целика по пласту Байкаим-

ский ширина граничных с выработанным пространством зон целика, потерявших несущую способность, составляет 3,5–3,6 м (рис. 3, *б*, 3, *г*). Это обстоятельство следует учитывать при планировании выемки целика.

2. Наличие отработанных выемочных полей не оказывает влияния на геомеханическое состояние подготовительных выработок (рис. 3, *в*).

3. При расстоянии между подготовительными выработками 30 м между ними нет взаимовлияния. Расчет их геомеханического состояния можно проводить с учетом этого обстоятельства (рис. 3, *а*).

4. Величина вертикальных смещений и состояние выработок позволяет использовать их для последующей выемки целика.

5. Объем зон разрушения угля в рассмотренном предохранительном целике составляет не более 3% запасов угля в нем, что обуславливает технологическую целесообразность его выемки.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Петухов И. М.*, *Линьков А. М.*, *Фельдман И. А. и др.* Защитные пласты. – Л.: Недра, 1972. – 424 с.

2. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам РД 05-328-99.

3. *Фадеев А. Б.* Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.

4. *Курленя М. В.*, *Серяков В. М.*, *Еременко А. А.* Техногенные геомеханические поля напряжений. – Новосибирск: Наука, 2005. –264 с.

5. *Фрянов В. Н.*, *Павлова Л. Д.* Состояние и направления развития безопасной технологии подземной угледобычи. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 238 с.

6. *Карасев В. А.*, *Гоголин В. А.* Размеры зон разрушения пород при проведении выработки по пласту // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2011. – № 1. – С. 291–293.

7. *Гоголин В. А.* Критерий прочности горных пород и угольного пласта на сжатие / Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: Материалы X Международной научно-практической конференции [Электронный ресурс] / Под ред. О. В. Тайлакова. – Кемерово: КузГТУ, 2015. Режим доступа: http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/BGD/2015/bgd2015/pages/Articles/1/11.pdf ГИАБ

**КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

*Ермакова Инна Алексеевна* – доктор технических наук, профессор, e-mail: inna-e@inbox.ru, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
*Пириева Наталья Николаевна* – главный специалист, e-mail: PirievaNN@suek.ru, ОАО «СУЭК-Кузбасс».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 7, pp. 193–199.

UDC 622.831

**I.A. Ermakova, N.N. Pirieva**

# ANALYSIS OF PROTECTIVE PILLAR GEOMECHANICAL CONDITION ON A.D. RUBAN MINE

Article contains results of numerical experiments by the finite element method for a condition of coal protective pillar during clean mining coal on A.D. Ruban mine. Mining and geological conditions, that these mine has, are typical for coal deposits of Kuznetsk Basin in Leninsk-Kuzneckij and Belovo region. Strength analysis coal protective pillar was made. The areas of coal protective pillar, that supporting capacity lose and was destroyed, has been identified. Vertical displacements distribution on roof of protective pillar is present. The conclusion was made about the technological appropriateness of mining of coal protective pillar.

Key words: stress state, rock strength, the finite element method, coal protective pillar.

**AUTHORS**

*Ermakova I.A.*, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kuzbass State Technical University named after T. Gorbachev,
650000, Kemerovo, Russia, e-mail: inna-e@inbox.ru,
*Pirieva N.N.*, Chief Specialist, e-mail: PirievaNN@suek.ru,
SUEK-Kuzbass JSC, 652507, Leninsk-Kuznetskiy, Russia.

**REFERENCES**

1. Petukhov I.M., Lin'kov A.M., Fel'dman I.A. *Zashchitnye plasty* (Защитные пласты), Leniuingrad, Nedra, 1972, 424 p.

2. *Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na shakhtakh, razrabatyvayushchikh ugol'nye plasty, sklonnye k gornym udaram RD 05-328-99* (Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам РД 05-328-99).

3. Fadeev A.B. *Metod konechnykh elementov v geomekhanike* (Метод конечных элементов в геомеханике), Moscow, Nedra, 1987, 221 p.

4. Kurlenya M.V., Seryakov V.M., Eremenko A.A. *Tekhnogennye geomekhanicheskie polya napryazheniy* (Техногенные геомеханические поля напряжений), Novosibirsk, Nauka, 2005, 264 p.

5. Fryanov V.N., Pavlova L.D. *Sostoyanie i napravleniya razvitiya bezopasnoy tekhnologii podzemnoy ugledobychi* (Состояние и направления развития безопасной технологии подземной угледобычи), Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2009, 238 p.

6. Karasev V.A., Gogolin V.A. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2011, no 1, pp. 291–293.

7. Gogolin V.A. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti predpriyatiy v promyshlenno razvitykh regionakh. Materialy Kh Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Pod red. O.V. Taylakova (Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах. Материалы X Международной научно-практической конференции. Taylakov O.V. (Ed.)), Kemerovo, KuzGTU, 2015, available at: http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/BGD/2015/bgd2015/pages/Articles/1/11.pdf