

С.В. Бакуменко, С.В. Кузьмин, Д.Н. Демехин, Д.С. Власенко
К ВОПРОСУ О РАЗМЕРАХ ОХРАННЫХ ЦЕЛИКОВ
У ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ПОДРАБОТАННЫХ
ПЛАСТАХ (СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА)

Рассмотрен вопрос определения размеров целиков на подработанных пластах. Изложены известные методы расчета параметров охранных целиков. Но использовать эти методы для определения указанных целиков в изложенном виде не представляется возможным, так как в подработанном пласте будут другие напряжения и прочностные, и деформационные характеристики, что не обходимо учитывать при определении размеров целиков в таких условиях.

Ключевые слова: охранные целики, подработанный пласт, прочность угля, несущая способность, угольная шахта, глубина ведения работ, кровля.

Рассмотрим известные методы расчета параметров охранных целиков у горных выработок в обычных условиях с целью выяснения факторов и причин, по которым известные методы не могут быть применены в условиях сближенных подработанных пластов, и что необходимо исследовать дополнительно для возможного их применения.

Одним из первых методов оценки прочных размеров целиков является метод Турнера, предложенный в расчете [1]. Он основан на предположении, что опорные целики несут нагрузки от веса всей покрывающей толщи пород и поэтому в качестве критерия прочности целиков в этом методе использовано следующее условие их прочности.

$$\frac{S_1}{S} > \frac{\gamma H}{\sigma_{сж}}$$

где S_1 – суммарная площадь опорных целиков; $\sigma_{сж}$ – предел прочности пород на одноосное сжатие; γ – объемный вес горной породы, H – глубина ведения горных работ.

К. Кегель в работе [2], основываясь на гипотезе Турнера, предложил

для расчета целиков формулу, учитывающую угол падения залежи:

$$\frac{S_1}{S} > \frac{\gamma H \cos \alpha}{\sigma_{сж}}$$

Дальнейшее развитие гипотезы Турнера получила в работе Л.Д. Шевякова [3], который в условиях прочности целиков кроме коэффициента запаса прочности k_3 , ввел коэффициент формы, зависящий от отношения высоты целика (h) к его ширине (b). Расчетный метод Л.Д. Шевякова основан на следующих предположениях: максимальная нагрузка на опорные целики равна весу толщи пород до земной поверхности; вертикальные напряжения в горизонтальных сечениях целиков считаются равномерно распределенными, а фактическая неравномерность компенсируется вводимым в расчет запасом прочности.

В ряде работ для расчета целиков используют положения теории балок. Примером такого расчета является метод, предложенный В.Д. Слесаревым [4], который основан на учете взаимодействия вертикальной нагрузки P , бокового распора P_0 и сил сцепления C . При этом считается, что элементы целика находятся под действием рав-

номерного распределенных нагрузок интенсивностью P и P_0 , действующих соответственно со стороны кровли и от сил бокового распора, а также реакции со стороны почвы. В расчетах учтены размеры обрабатываемого участка и наличие податливых опор (слоя или целика), а решение объемной задачи сведено через эквивалентный пролет к плоской. Однако в методе Слесарева недостаточно обоснована гипотеза кривой давления. Предложенная им формула для определения сил бокового распора имеет

$$\text{вид } P_0 = P \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \text{ и предназна-}$$

чена для расчета активного давления сыпучих тел. Кроме того, для расчета размеров целиков используется формула теории сопротивления материалов для сжатия блоков, в то время как у целиков все размеры являются, примерно, величинами одного порядка.

В работах Ф.П. Бублика, Г.А. Иванова, А.В. Плахова [5, 6, 7] рассмотрены вопросы определения несущей способности неоднородных целиков, при этом для определения размеров целиков использовалось значение длительной прочности угля.

К.И. Иванов в работе [4], основываясь на определении проф. Г.Н. Кузнецова для крепей, рассматривает две схемы работы опорных угольных целиков – в режиме заданных нагрузок и в режиме заданной деформации. При этом в зависимости от технологии ведения очистных работ им предложены и различные схемы нагружения целиков.

Интересные схемы нагружения целиков различного назначения разработаны А.В. Плаховым [8], при этом им впервые предпринята попытка путем анализа и измерений в натурных условиях определить фактические напряжения, действующие в целиках в момент их разрушения.

Значительный интерес представляет подход к определению размеров целиков, предложенный Н.П. Ерофеевым [9]. Его основным моментом установление запаса прочности целиков. Замена относительно произвольного запаса прочности функцией срока службы и уровня надежности позволяет с помощью инженерного расчета решать задачу устойчивости. Этот метод позволяет в некоторой степени учитывать как недостоверность расчетных схем, так и случайный характер действующих параметров. Согласно этому методу условие прочности целиков выражается уравнением:

$$\sigma_d \leq \frac{\sigma_u}{n}$$

где σ_d – действующие в целике напряжения; σ_u – несущая способность целика; n – запас прочности.

При этом совместное влияние на прочность целиков их формы K_ϕ , структурного ослабления пород K_c , угла падения пласта K_a , влияния буровзрывных работ K_0 предлагается выражать в виде коэффициента K :

$$K = \varphi K_\phi K_c K_a K_0$$

где φ – коэффициент корреляционных связей.

Таким образом, несущая способность целика определяется как функция коэффициента K :

$$\sigma_u = \sigma_0 |K|,$$

где σ_0 – предел прочности горных пород при сжатии.

Действующие в целике напряжения определялись как

$$\sigma_d = \gamma H K_n$$

где K_n – коэффициент нагрузки.

Особое внимание в работах [9, 10] уделяется обоснованному выбору коэффициента запаса прочности n , что позволяет определить параметры целиков с заданным уровнем надеж-

ности. В общем виде уравнение для определения n представлено в виде

$$n = n(\tau) n(P) n(t^0)$$

где $n(\tau)$ – запас прочности, учитывающий влияние временных факторов; $n(P)$ – запас прочности, учитывающий вариацию физико-механических свойств массива пород; $n(t^0)$ – запас прочности, учитывающий влияние температуры пород.

Первая попытка использовать решения теории упругости для расчета целиков была предпринята П.М. Цимбаревичем [11], который предлагал заменить криволинейную границу эпюры опорного давления отрезками двух прямых. Результатом этого является неравенство для проверки опорного целика на прочность:

$$B < \frac{2,5(a_1 + a_2)}{2}$$

где B – ширина целика; α_1, α_2 – ширины выработок.

В этом решении не учитываются остальные два размера целика – длина и высота, кроме того, с помощью этой зависимости можно только проверить заранее заданную ширину целика.

Представляет интерес работа Д.И. Шермана [12], в которой дается решение задачи о распределении нагрузок на целики, разделяющие две выработки круглой формы, две эллиптические выработки и нагрузки на целики между двумя и четырьмя шелевыми разрезками. Эти исследования показали, что для двух круговых выработок нагрузка на разделяющий целик меньше веса столба пород над ним, но стремиться к ней с увеличением ширины целика.

Так, в случае двух выработок радиусом R при ширине целика $0,2R$ и $2R$ нагрузки на целик составляют соответственно $1,03\gamma HR$ и $3,68\gamma HR$, а вес столба пород $2,2\gamma HR$ и $4\gamma HR$. Таким образом, узкий целик несет 47% веса

столба пород, а широкий – 91%. Приведенные Д.И. Шерманом результаты свидетельствуют о том, что при отработке более 4–5 камер нагрузки на средние целики приближаются к полному весу столба пород.

В работе К.И. Руппенейта [13] приведено решение задачи об определении разрушающей нагрузки для целика данных размеров и фактической нагрузки на этот целик. Сущность подхода заключается в предположении, целик исчерпывает свою несущую способность только тогда, когда во всех его точках наступает состояние предельного равновесия. Таким образом, наличие точек или отдельных областей, в которых напряжения достигают предельных, еще не означает разрушения целика.

Практическое определение несущей способности осуществляется чрезвычайно трудоемким построением сетки линий скольжения. Развитие этого метода приведено в работах Ю.М. Либбермана [14], С.С. Голушкевича [15], М.А. Липсона [16], Г.Л. Фисенко [17].

Задачу о распределении нагрузок на произвольное число ленточных и столбчатых целиков, используя классическую теорию упругости, решили Ж.С. Ержанов, Ю.Ю. Серегин, В.В. Смирнов в работе [18].

В последние годы для расчета параметров охранных целиков на угольных шахтах РФ широко применяется разработанная во ВНИМИ методика [19], которая прошла промышленное опробование в большом диапазоне горно-геологических условий и отличается простотой расчетов и достоверностью результатов. Сущность ее заключается в том, что действующая на целик нагрузка (P_ϕ), взятая с некоторым запасом (n_ϕ) уравнивается несущей способностью целика (P_π), т.е.

$$n_\phi \cdot P_\phi = P_\pi \quad (1)$$

На рисунке представлена схема к расчету междуштрекового охрannого целика. Как видно, полная нагрузка

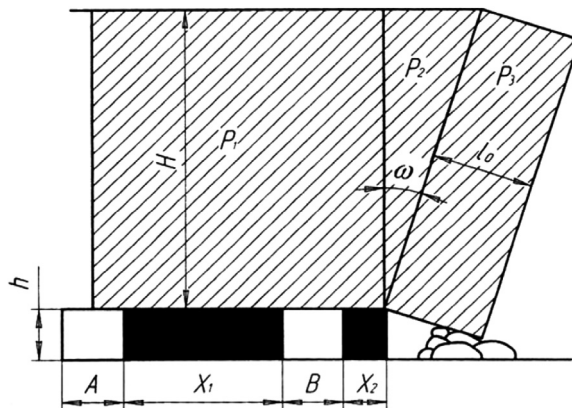


Схема нагружения целика у подготовительных выработок

P_{ϕ} на единицу длины целика складывается из веса P_1 породного столба под целиком и веса призмы, зависающих пород P_2 , т.е.

$$P_{\phi} = P_1 + P_2 \quad (2)$$

Величина P_1 определяется по формуле:

$$P_1 = (0,5A + B + X_1 + X_2) \gamma H \quad (3)$$

где A и B – ширина охраняемых штреков; X_1 – ширина целика между штреками; X_2 – ширина податливого целика между охраняемым штреком и выработанным пространством; H – глубина горных работ, м; γ – усредненный объемный вес пород налегающей толщи, МПа.

Величину P_2 вычисляют используя угол (ω) отклонения поверхности излома пород от плоскости, нормальной к напластованию пород и глубины ведения горных работ (H)

$$P_2 = 0,5\gamma H^2 \operatorname{tg} \omega \quad (4)$$

Подставив значения P_1 и P_2 в формулу (3) получим:

$$P_{\phi} = \gamma H(0,5A + B + X_1 + X_2 + 0,5H \operatorname{tg} \omega) \quad (5)$$

Выражение для расчета несущей способности междуштрекового целика имеет следующий вид:

$$P_n = k_t R_0 k_{\phi} X \quad (6)$$

где k_t – коэффициент длительной прочности целика; R_0 – кубиковая прочность пласта при условно – мгновенном нагружении, МПа; k_{ϕ} – коэффициент формы равен:

$$k_{\phi} = U + V \frac{X}{h_u} \quad (7)$$

где U и V параметры зависящие от свойств горных пород слагающих целик; X – ширина целика; h_u – высота целика.

Для определения искомой ширины целика (X) подставим в формулу (2) значения входящих в нее величин P_{ϕ} и P_n

$$\begin{aligned} h_u \cdot \gamma H(0,5A + B + X_1 + X_2 + 0,5H \operatorname{tg} \omega) = \\ = k_{\phi} \cdot R_0 \left(U + V \frac{X_1}{h_u} \right) X \end{aligned} \quad (8)$$

Решая уравнение (8) относительно X , получим искомое значение междуштрекового охранного целика.

Приведенная выше методика определения размеров охранных целиков рассмотрена достаточно подробно, поэтому что ее предполагается использовать для расчета размеров охранных целиков у подготовительных выработок проводимых по ранее подработанному пласту свиты.

Использовать ее для определения указанных целиков в изложенном виде не представляется возможным, так как мы не знаем какая прочность угля и пород может быть использована при этом, так как процессы вызванные подработкой пластов в обязательном порядке приведут к изме-

нению их исходных значений, кроме того это же относится и к значению величины глубины ведения работ, так как вследствие разгрузки вызванной подработкой величина напряжений в подработанной толще пород не будет равняться значению оцениваемому как $\sigma = \gamma H$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tournaise des demenions oi danneroux pillers dis carrieres des pressirs ouxguelles les terrains sont soumis daus les profoucleurs* – Ann. miner 1884, V. 82–84, 1886, VII. – P. 104–109.
2. *Kegel K. Uber der Abbau von Kalisalz-zlagestatten im grobereu tenfen* // Gluchauf. – 1906. – № 3. – P. 8–12.
3. *Шевяков Л.Д.* О расчете прочных размеров и деформации опорных целиков // *Известия АН СССР*. – 1941. – № 7–9. – С. 3–8.
4. *Слесарев В.Д.* Определение оптимальных размеров целиков различного назначения. – М.: Углетехиздат, 1948. – 214 с.
5. *Бублик Ф.П.* Несущая способность целиков: автореферат диссертации д.т.н. – Л., 1972. – 36 с.
6. *Бублик Ф.П., Иванов Г.А., Плахов А.В.* К вопросу определения нагрузки на предохранительные и барьерные целики // *Уголь*. – 1974. – № 2. – С. 12–14.
7. *Иванов К.И.* Выбор расчетных схем для определения оптимальных размеров опорных целиков. – М.: Издательство ИГД им. А.А. Скочинского, 1965. – 34 с.
8. *Плахов А.В.* Устойчивость кровли и целиков во времени на сланцевых шахтах / *Методы изучения и способы управления горным давлением в подземных выработках*. – Л.: ВНИМИ, 1987. – С. 56–58.
9. *Ерофеев Н.П.* Прогнозирование устойчивости горных выработок. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 81 с.
10. *Иванов Г.А.* Исследование несущей способности неоднородных целиков: автореферат дисс. к.т.н. – Л.: ЛПИ, 1970. – 25 с.
11. *Цымбаревич П.М.* О напряжениях в надштрековых целиках // *Уголь*. – 1954. – № 7. – С. 16–18.
12. *Шерман Д.И.* К вопросу о напряженном состоянии междуканальных целиков // *Известия АН СССР, серия Общетеchnические науки*. – 1956. – № 6. – С. 17–33.
13. *Руппенейт К.В.* Определение давления на междуканальные и барьерные цели. Методы определения размеров целиков и потолочин. – М.: изд. АН СССР, 1962. – С. 17–33.
14. *Литерман Ю.М., Ильштейн А.М., Мельников Е.А. и др.* Методы расчета целиков и потолочин камер рудных месторождений. – М.: Наука, 1964. – 142 с.
15. *Гулошкевич С.С.* Плоская задача теории предельного равновесия сыпучей среды. – М.: Гостортехиздат, 1948. – 265 с.
16. *Линсон М.А.* Определение полной несущей способности целиков графическим методом // *Известия АН СССР. Отделение технических наук*. – 1956. – № 5. – С. 12–27.
17. *Фисенко Г.Л.* Предельные состояния горных пород вокруг выработок. – М.: Недра, 1976. – 271 с.
18. *Ержанов Ж.С., Серегин Ю.Ю., Смирнов В.В.* Расчет нагруженности опорных и поддерживающих целиков. – М.: Наука, 1973. – 173 с.
19. *Громов Ю.В., Плахов А.В., Розенбаум М.А. и др.* Методическое руководство по выбору геомеханических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями. – СПб., ВНИМИ, 2003. – 54 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Бакуменко Сергей Владимирович – аспирант, горный инженер, e-mail: svb2306@mail.ru,
Кузьмин Сергей Владимирович – горный инженер, младший научный сотрудник,
e-mail: kuzmin_sv@rambler.ru,
Демехин Дмитрий Николаевич – горный инженер, научный сотрудник,
e-mail: demehin_dn@spmi.ru,
Власенко Дмитрий Сергеевич – горный инженер, научный сотрудник,
e-mail: ds_vlasenko@mail.ru,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
Научный Центр геомеханики и проблем горного производства.

REVISITING THE SIZE OF PROTECTIVE PILLARS IN UNDERWORKED SEAMS OF MINE WORKINGS

Bakumenko S.V.¹, Mining Engineer, Graduate Student, e-mail: svb2306@mail.ru,
Kuzmin S.V.¹, Mining Engineer, Junior Researcher, e-mail: kuzmin_sv@rambler.ru,
Demekhin D.N.¹, Mining Engineer, Researcher, e-mail: demekhin_dn@spmi.ru,
Vlasenko D.S.¹, Mining Engineer, Researcher, e-mail: ds_vlasenko@mail.ru,

¹ National Mineral Resource University «University of Mines»,
Scientific Center for Geomechanics and Mining Problems, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

The article is devoted entirely to determine the size of the earned formations. In this paper, in sufficient detail the known methods of calculating the parameters of security pillars. However, using these methods for determining these pillars in the described form is not possible, since there are other undermining formation voltage and strength and deformation characteristics, which is not necessary to take into account in determining the size of pillars in such conditions.

Key words: protective pillar, underworked seam, strength coal, bearing capacity, coalliery, depth of conducting works, roofing.

REFERENCES

1. *Tournaise des demenions oi danneroux pillers dis carrieres des pressirs ouxquelles les terrains sont soumis daus les profoucleurs.* Ann, miner 1884, V. 82–84, 1886, VII. P. 104–109.
2. Kegel K. Über der Abbau von Kalisalzlagestatten im grobereu tenfen. *Gluchauf.* 1906, no 3. P. 8–12.
3. Shevyakov L.D. *Izvestiya Akademii nauk SSSR.* 1941, no 7–9, pp. 3–8.
4. Slesarev V.D. *Opredelenie optimal'nykh razmerov tselikov razlichnogo naznacheniya* (Determination of the optimal size of entirely different function), Moscow, Ugletekhizdat, 1948, 214 p.
5. Bublik F.P. *Nesushchaya sposobnost' tselikov* (The bearing capacity of the pillars), Doctor's thesis, Leningrad, 1972, 36 p.
6. Bublik F.P., Ivanov G.A., Plakhov A.V. *Ugol'.* 1974, no 2, pp. 12–14.
7. Ivanov K.I. *Vybor raschetnykh skhem dlya opredeleniya optimal'nykh razmerov opornykh tselikov* (The choice of design models to determine the optimal size of the support pillars), Moscow, Izdatel'stvo IGD im. A.A. Skochinskogo, 1965, 34 p.
8. Plakhov A.V. *Metody izucheniya i sposoby upravleniya gornym davlenie v podzemnykh vyrabotkakh* (Methods of study and methods of rock of mountain pressure in the mining workings), Leningrad, VNIMI, 1987, pp. 56–58.
9. Erofeev N.P. *Prognozirovanie ustoichivosti gornykh vyrabotok* (Predicting the stability of mine workings), Alma-Ata, Nauka, 1977, 81 p.
10. Ivanov G.A. *Issledovanie nesushchei sposobnosti neodnorodnykh tselikov* (Research on carrying capacity of inhomogeneous pillars), Candidate's thesis, Leningrad, LGI, 1970, 25 p.
11. Tsybarevich P.M. *Ugol'.* 1954, no 7, pp. 16–18.
12. Sherman D.I. *Izvestiya Akademii nauk SSSR, seriya Obshchetechnicheskie nauki.* 1956, no 6, pp. 17–33.
13. Ruppenet K.V. *Opredelenie davleniya na mezhdukamernye i bar'ernye tseli. Metody opredeleniya razmerov tselikov i potolochin* (Determination of pressure and barrier interchamber purpose. Methods ore determining the size of the pillars and potolochin), Moscow, izd. AN SSSR, 1962, pp. 17–33.
14. Litterman Yu.M., Il'shtein A.M., Mel'nikov E.A. *Metody rascheta tselikov i potolochin kamer rudnykh mestorozhdenii* (Methods for calculating the pillars and potolochin cameras or deposits), Moscow, Nauka, 1964, 142 p.
15. Guloshkevich S.S. *Ploskaya zadacha teorii predel'nogo ravnovesiya sypuchei sredy* (The plane problem of the theory of limit equilibrium granular medium), Moscow, Gostortekhzdat, 1948, 265 p.
16. Linson M.A. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Otdelenie tekhnicheskikh nauk.* 1956, no 5, pp. 12–27.
17. Fisenko G.L. *Predel'nye sostoyaniya gornykh porod vokrug vyrabotok* (Limit states of rocks around workings), Moscow, Nedra, 1976, 271 p.
18. Erzhanov Zh.S., Seregin Yu.Yu., Smirnov V.V. *Raschet nagruzhennosti opornykh i podderzhivayushchikh tselikov* (Calculation of the loading of the support and supporting pillars), Moscow, Nauka, 1973, 173 p.
19. Gromov Yu.V., Plakhov A.V., Rozenbaum M.A. *Metodicheskoe rukovodstvo po vyboru geomekhanicheskikh parametrov tekhnologii razrabotki ugol'nykh plastov korotkimi zaboyami* (Methodological guidance on the selection of geomechanical parameters of the technology development of coal seams with short faces), Saint-Petersburg, VNIMI, 2003, 54 p.