

Исследование параметров рамно-анкерной крепи горизонтальных выработок в условиях влияния очистных работ

Латышев О. Г.¹, Хлебников П. К.^{1,2}

¹ Уральский государственный горный университет
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

² Шахта «Соколовская» АО «ССГПО»
(Республика Казахстан, г. Рудный, Соколовско-Сарбайский ГОК)

Реферат

Введение. На действующем горном предприятии по мере развития очистных работ увеличивается нагрузка на крепь подземных выработок. Для ее безаварийной работы требуется усиление рамной крепи анкерами. Параметры рамно-анкерной крепи должны обеспечить надежную устойчивость горной выработки.

Целью работы является установление закономерностей распределения усилий (изгибающих моментов) в рамно-анкерной крепи в зависимости от геометрии выработки и действующего горного давления.

Методология: компьютерное моделирование работы рамно-анкерных крепей, анализ изгибающих моментов в элементах крепи.

Результаты. Оценка несущей способности рамных крепей производится анализом изгибающих моментов в их элементах. Для этого используется разработанная компьютерная модель работы крепи, позволяющая производить построение эпюры изгибающих моментов по профилю арочной крепи. Установлено, что максимальные изгибающие моменты рамной крепи с элементами податливости возникают в стойках рамы. Для безаварийной работы крепи предлагается установка усиливающих анкеров. В работе представлены результаты комплекса исследований напряжений в рамно-анкерной крепи в зависимости от действующего горного давления (соотношения боковой и вертикальной нагрузки) и геометрии подземной выработки.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что величина изгибающих моментов в рамно-анкерной крепи зависит от соотношения боковой и вертикальной нагрузки на раму крепи и от геометрии выработки. Полученные количественные оценки и графики этих зависимостей позволяют обоснованно выбрать места установки усиливающих крепь анкеров.

Ключевые слова: рамно-анкерная крепь; изгибающие моменты; компьютерная модель; параметры крепи.

Введение. Важнейшей задачей проектирования технологии разработки месторождений полезных ископаемых является обеспечение устойчивости подземных выработок. Условия устойчивости определяются соотношением действующих напряжений и реакции отпора крепи [1]. Для их оценки используются различные классификации породных массивов, например рекомендации «Свода правил» СП 91.13330.2012. В зарубежной практике проектирования широко используются рейтинговые системы оценок устойчивости массивов (Бенявский, Лобчер, Хоек, Браун, Бартон и др. [2–6]). Оценка и прогноз устойчивости осуществляются, как правило, на стадии проектирования горного предприятия по результатам оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) породного массива в окрестности сооружаемой выработки [1, 7]. Однако по мере отработки месторождения за счет влияния очистных работ НДС массива существенно изменяется, и определенные ранее условия устойчивости могут нарушаться. Это требует дополнительных исследований и в некоторых случаях усиления крепи.

Такая ситуация возникла при эксплуатации шахты «Соколовская» (Казахстан). Запроектированные и возведенные рамно-анкерные крепи с расклинивающими элементами в капитальных выработках [8] под влиянием очистных работ на отдельных участках пришли в аварийное состояние. Это потребовало дополнительных исследований и обоснования способов усиления рамной крепи.

Методология. Для определения нагрузки на крепь в зоне влияния очистных работ в соединительных анкерных узлах устанавливались индикаторы нагрузки производства фирмы BWZ. Это позволило осуществлять контроль состояния крепи выработок и своевременно получать информацию о необходимости усиления крепления на контрольном участке горной выработки. Расчет элементов рамно-анкерной крепи производился методом моментов [9–11] по разработанной компьютерной модели RAMKREP [8].

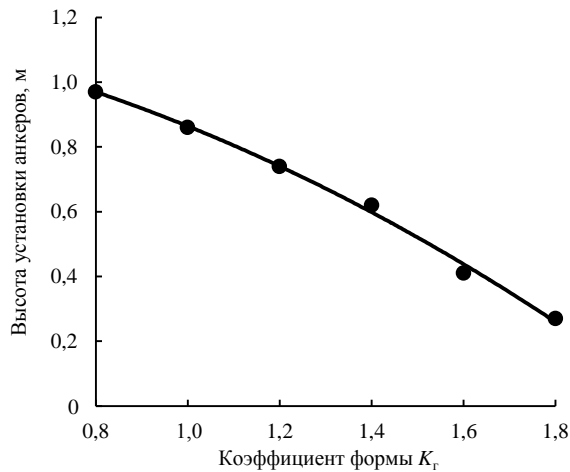


Рис. 1. Влияние геометрии выработки на оптимальные места установки анкеров
Fig. 1. Mine working geometry influence on the optimal sites of anchors installation

Результаты исследований. В результате исследования аварийных ситуаций рамно-анкерной крепи с расклинивающими элементами на шахте «Соколовская» в зоне влияния очистных работ установлены недопустимые изгибающие моменты в стойках крепи. На таких участках принято решение произвести усиление крепи за счет установки дополнительных анкеров. Для обоснованного назначения характеристик и мест установки укрепляющих анкеров необходимо исследовать работу крепи при различных ее конструкциях. Расчет изгибающих моментов крепи производился при варьировании следующих показателей: геометрические характеристики выработки в виде отношения ее ширины B к высоте H ($K_r = B/H$); характер нагружения на крепи в виде отношения боковой нагрузки к вертикальной: $K_n = q_6/q_b$; места установки анкеров – их угловые координаты (град).

Первой задачей является исследование и определение оптимальных мест расположения анкеров в стойках крепи при уже установленных расклинивающих элементах в замках свода для различных условий нагружения и геометрии выработки [12]. Для расчетов использована компьютерная модель рамно-анкерных крепей [8]. Сопоставление результатов реализации модели для всех возможных сочетаний нагрузок на крепь, определенных в реальных условиях шахты индикаторами BWZ, показывает, что при любом сочетании вертикальных и боковых нагрузок и оптимальных местах расположения расклинивающих элементов координаты

наты мест установки анкеров в стойках крепи зависят от геометрической характеристики выработки: $K_r = B/H$ (рис. 1).

Наиболее точно данная зависимость описывается уравнением квадратной параболы:

$$h = 1,2 - 0,12K_r - 0,23K_r^2$$

с близким к единице коэффициентом достоверности аппроксимации ($R^2 = 0,996$).

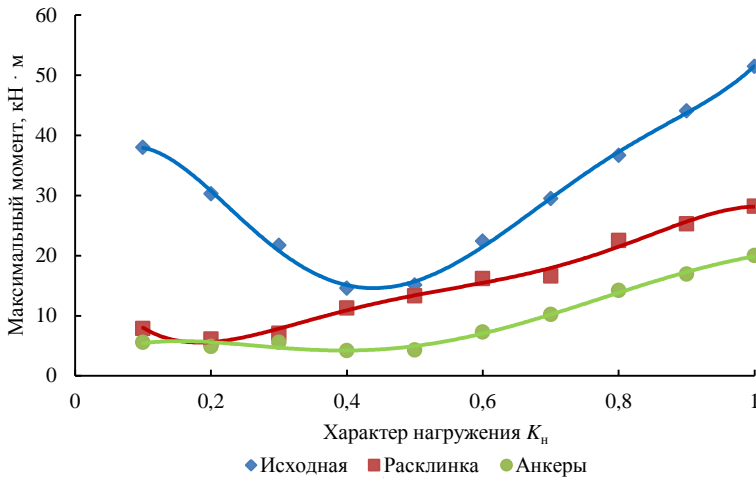


Рис. 2. Зависимость максимальных изгибающих моментов от характера нагружения

Fig. 2. The dependence between the maximum bending moments and the loading condition

Величина максимального изгибающего момента в рамах крепи сложным образом зависит от соотношения боковой и вертикальной нагрузки: $K_n = q_b / q_v$. В частности, при коэффициенте формы выработки $K_r = B/H = 1$ эти зависимости для исходной рамы (без усилений), с расклинивающими элементами и в сочетании с расклинкой и анкерами, представлены на рис. 2.

Таблица 1. Параметры уравнения (1)
Table 1. Parameters of equation (1)

Усиление крепи	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Исходная	28,5	243	-1893	4460	-4203	1417
Расклинка	22,0	-232	1119	-2239	2073	-717
Анкеры	1,6	67	-356	705	-538	141

При всем различии зависимостей точки на графиках достаточно точно описываются уравнением полинома пятой степени (линии на графиках):

$$M_i = A_0 + A_1K_n + A_2K_n^2 + A_3K_n^3 + A_4K_n^4 + A_5K_n^5. \quad (1)$$

Параметры уравнения приведены в табл. 1.

Анализ графиков (рис. 2) и расчеты, выполненные для других геометрических характеристик выработки, позволяют заключить следующее. При малых боковых нагрузках ($K_n < 0,3$) установка анкеров при наличии расклинивающих элементов

нецелесообразна в силу малого снижения изгибающих моментов. Минимум моментов при установке анкеров наблюдается при $K_n = 0,3-0,5$. При дальнейшем росте боковой нагрузки ($K_r > 0,5$) наблюдается линейный рост величины максимальных моментов в рамках крепи с темпом: $M_{max}/K_n = 28-32 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

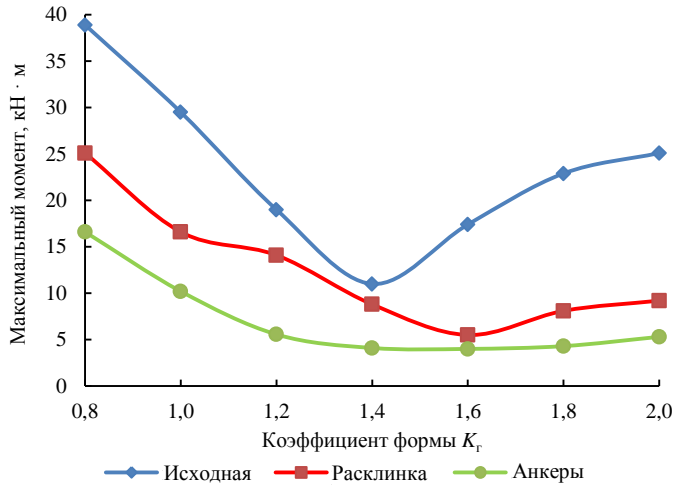


Рис. 3. Характер изменения максимальных изгибающих моментов крепи при различной геометрии выработок
 Fig. 3. The behavior of the maximum bending moments of a support under various geometry of a mine working

На следующем этапе выполнен анализ эффективности усилений выработки при различной ее геометрии ($K_r = B/H$) во всем возможном диапазоне соотношений боковой и вертикальной нагрузок ($K_n = q_6/q_b$). В качестве примера на рис. 3 приведены результаты анализа для случая $K_n = q_6/q_b = 0,7$.

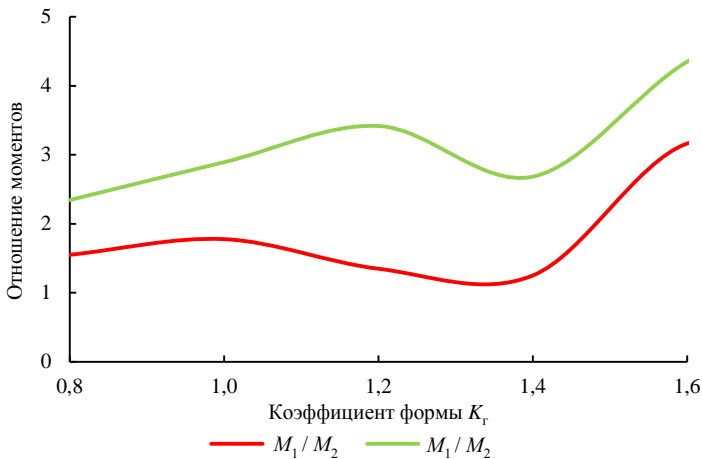


Рис. 4. Относительные изгибающие моменты в рамках крепи при использовании усиливающих воздействий
 Fig. 4. Nominal bending moments in the frames of the support under the use of the reinforcing effects

Наиболее сильная зависимость максимальных изгибающих моментов наблюдается в рамках крепи без применения усиливающих элементов. При использовании расклинивающих элементов эта зависимость становится слабее. При усилении крепи анкерами и при $K_r > 1,3$ максимальные изгибающие моменты

практически не изменяются, т. е. геометрия выработки становится фактором малозначимым. В общем случае графики зависимостей $M_{\max} = f(K_r)$ имеют экстремум (минимум), соответствующий геометрии наиболее устойчивой выработки.

Из графиков (рис. 3) следует, что применение управляющих воздействий, особенно в сочетании расклинки и анкеров, существенно снижает изгибающие моменты в крепи, что дает возможность увеличить шаг установки крепи или применять ее облегченные типы (специфилей меньших номеров). На рис. 4 показано относительное снижение моментов при использовании расклинивающих элементов M_2 и сочетания расклинки с анкерами M_3 по сравнению с максимальными изгибающими моментами в рамах без усиления M_1 .

Таблица 2. Параметры рамно-анкерной крепи с расклинивающими элементами
Table 2. Parameters of the frame-anchor support with the wedging elements

$K_r = B/H$	Угловые координаты расклинки, град	Высота установки анкеров, м	$K_r = B/H$	Угловые координаты расклинки, град	Высота установки анкеров, м
<i>Характер нагрузки: $K_n = q_6/q_8 = 1,0$</i>			<i>Характер нагрузки: $K_n = q_6/q_8 = 0,6$</i>		
0,8	60	0,97	0,8	50	0,97
1,0	60	0,86	1,0	40	0,90
1,2	60	0,75	1,2	30	0,68
1,4	60	0,63	1,4	20	0,55
1,6	60	0,49	1,6	20	–
<i>Характер нагрузки: $K_n = q_6/q_8 = 0,9$</i>			<i>Характер нагрузки: $K_n = q_6/q_8 = 0,5$</i>		
0,8	60	0,97	0,8	40	1,10
1,0	60	0,86	1,0	30	0,84
1,2	60	0,74	1,2	20	0,71
1,4	50	0,62	1,4	20	–
1,6	30	0,41	<i>Характер нагрузки: $K_n = q_6/q_8 = 0,4$</i>		
1,8	20	0,27	0,8	30	0,95
<i>Характер нагрузки: $K_n = q_6/q_8 = 0,8$</i>			1,0	20	0,86
0,8	60	0,97	1,2	20	0,63
1,0	60	0,86	1,4	20	–
1,2	60	0,74	<i>Характер нагрузки: $K_n = q_6/q_8 = 0,3$</i>		
1,4	50	0,60	0,8	30	0,93
1,6	40	0,47	1,0	20	0,78
<i>Характер нагрузки: $K_n = q_6/q_8 = 0,7$</i>			1,2	20	–
0,8	60	0,97	1,4	20	–
1,0	50	0,86	<i>Характер нагрузки: $K_n = q_6/q_8 = 0,2$</i>		
1,2	40	0,73	0,8	20	0,96
1,4	20	0,57	1,0	20	–
1,6	20	–	1,2	20	–
			1,4	20	–

Прочерки в таблице для столбца анкеров означают, что при данных соотношениях параметров установка усиливающих анкеров не рациональна.

Для рассматриваемого случая применение анкеров в сочетании с расклинивающими элементами снижает максимальные изгибающие моменты в 2,4–4,4 раза. Вместе с тем описание рассматриваемых зависимостей моментов в рамах крепи от геометрии выработок и сочетания нагрузок простейшими алгебраическими

функциями не представляется возможным. Для расчета оптимальных параметров рамной крепи следует использовать разработанную математическую модель для конкретных горно-геологических условий. Результаты реализации этой модели позволили определить оптимальные параметры крепи для различных условий нагружения и геометрии выработок. Типичные случаи приведены в табл. 2.

В соответствии с полученными рекомендациями произведено усиление крепи анкерами на аварийных участках откаточного штрека ОШ-15 гор. –260 м шахты «Соколовская». До настоящего времени такая усиленная крепь работает безаварийно.

Выводы. По мере разработки месторождения и развития очистных работ возрастает нагрузка на крепь капитальных выработок. Ранее установленные рамно-анкерные крепи с элементами податливости приходят в аварийное состояние. Для их усиления предлагается установка анкеров в стойках крепи. Места установки определяются геометрией выработки и соотношением боковой и вертикальной составляющих горного давления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баклашов И. В., Картозия Б. А. Механика горных пород. М.: Недра, 1975. 271 с.
2. Bieniawski Z. T. Estimating the strength of rock materials // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 1974. Vol. 74. P. 312–320.
3. Laubscher D. H. Geomechanistic classification system for rating of rock mass in mine design // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 1990. Vol. 90. No. 10. P. 257–273.
4. Hoek E., Bray J. W. Rock Slope Engineering. 3rd ed. London: Institution of Mining and Metallurgy, 1981. 358 p.
5. Hoek E., Brown E. T. Practical estimates of rock mass strength // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 1997. No. 34 (8). P. 1165–1186.
6. Barton N. Shear strength criteria for rock, rock joints, rockfill and rock masses: Problems and some solutions // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2013. No. 5(4). P. 249–261.
7. Wittke W. Rock mechanics based on an anisotropic jointed rock model (AJRM). Wilhelm Ernst & Sohn, 2014. 865 p.
8. Глубоковских Ю. С., Хлебников П. К., Корнилков М. В. Выбор рациональных управляющих силовых воздействий при использовании металлических арочных крепей на шахте «Соколовская» // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 4. С. 32–36.
9. Корнилков М. В. Управление напряженно-деформированным состоянием арочных крепей // Известия вузов. Горный журнал. 1996. № 12. С. 52–56.
10. Поляков Б. А., Устинова Е. А. Исследование влияния расположения анкеров на несущую способность анкер-металлической крепи // Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов. Тула, 1990. С. 93–96.
11. Изаксон В. Ю. Определение нагрузок на крепь горных выработок по измеренным смещениям. Новосибирск: Наука, 1990. 72 с.
12. Хлебников П. К., Корнилков М. В. Обоснование рациональных способов усиления металлических арочных крепей на шахте «Соколовская» в сложных горно-геологических условиях // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 6. С. 12–16.

Поступила в редакцию 11 сентября 2018 года

Сведения об авторах:

Латышев Олег Георгиевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры шахтного строительства Уральского государственного горного университета. E-mail: gtf.shs@ursmu.ru

Хлебников Павел Константинович – инженер по капитальным горным работам шахты «Соколовская» АО «ССГПО», аспирант кафедры шахтного строительства Уральского государственного горного университета. E-mail: hledis@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-1-14-20

The study of frame-anchor support parameters in horizontal mine workings in the conditions of stoping influence

Oleg G. Latyshev¹, Pavel K. Khlebnikov^{1, 2}

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

² Sokolov-Sarbai Mining Production Association (SSGPO) JSC Sokolovskaya mine, Rudny, Kazakhstan.

Abstract

Introduction. At an operating mining enterprise, with the growth of stoping the load on the support of the underground workings increases. For its uninterrupted operation frame support reinforcement with anchors is required. The parameters of frame-anchor support should ensure reliable stability of a mine working.

Research aim is to establish regularities in the distribution of forces (bending moments) in frame-anchor support depending on the geometry of a working and the operating rock pressure.

Methodology includes computer modeling of frame-anchor supports operation and the analysis of bending moments in the elements of a support.

Results. The estimation of frame supports bearing capacity is carried out by the analysis of bending moments in their elements. For this purpose the developed computer model of support operation is used which allows to construct a shear and bending moment diagram along the profile of a frame support. It has been stated that maximum bending moments of frame support with the elements of compliance occur in frame poles. For uninterrupted support operation, reinforced anchors installation is suggested. The given research presents the results of a set of studies of frame-anchor support stresses depending on the operating rock pressure (the ratio of side and vertical loads) and the geometry of the underground working.

Conclusions. As a result of the research it has been stated that the value of bending moments in frame-anchor support depends on the correlation of side and vertical load upon the support's frame and on the geometry of the working. The obtained quantitative estimates and diagrams of these dependences allow to select the installation sites of support reinforcing anchors on reasonable grounds.

Key words: frame-anchor support; bending moments; computer model; support parameters.

REFERENCES

1. Baklashov I. V., Kartoziia B. A. *The mechanics of rock*. Moscow: Nedra Publishing; 1975. (In Russ.)
2. Bieniawski Z. T. Estimating the strength of rock materials. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 1974; 74: 312–320.
3. Laubscher D. H. Geomechanistic classification system for rating of rock mass in mine design. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 1990; 90 (10): 257–273.
4. Hoek E., Bray J. W. *Rock Slope Engineering*. 3rd ed. London: Institution of Mining and Metallurgy Publishing; 1981.
5. Hoek E., Brown E. T. Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 1997; 34 (8): 1165–1186.
6. Barton N. Shear strength criteria for rock, rock joints, rockfill and rock masses: Problems and some solutions. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2013; 5(4): 249–261.
7. Wittke W. *Rock mechanics based on an anisotropic jointed rock model (AJRM)*. Wilhelm Ernst & Sohn Publishing; 2014.
8. Glubokovskikh Iu. S., Khlebnikov P. K., Kornilkov M. V. The selection of efficient operating force actions when using steel arched supports at "Sokolovskaya" mine. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2015; 4: 32–36. (In Russ.)
9. Kornilkov M. V. Arched supports stress-strained state control. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 1996; 12: 52–56. (In Russ.)
10. Poliakov B. A., Ustinova E. A. Examination of anchors arrangement influence on the bearing capacity of an anchor-metallic support. In: *Underground exploitation of coal beds of low and moderate thickness*. Tula; 1990. p. 93–96. (In Russ.)
11. Izakson V. Iu. *Estimating loads upon the support of mine workings according to the measured displacements*. Novosibirsk: Nauka Sib. Otdelenie Publishing; 1990. (In Russ.)
12. Khlebnikov P. K., Kornilkov M. V. The substantiation of rational means of steel arched supports strengthening at "Sokolovskaya" mine in complex mining and geological conditions. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2015; 6: 12–16. (In Russ.)

Received 11th September, 2018

Information about authors:

Oleg G. Latyshev – Doctor of Engineering Science, Professor, professor of the Department of Mine Construction, Ural State Mining University. E-mail: gtf.shs@ursmu.ru

Pavel K. Khlebnikov – capital mining operations engineer at SSGPO JSC Sokolovskaya mine, PhD student at the Department of Mine Construction, Ural State Mining University. E-mail: E-mail: hledis@mail.ru

Для цитирования: Латышев О. Г., Хлебников П. К. Исследование параметров рамно-анкерной крепи горизонтальных выработок в условиях влияния очистных работ // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 1. С. 14–20.

For citation: Latyshev O. G., Khlebnikov P. K. The study of frame-anchor support parameters in horizontal mine workings in the conditions of stoping influence. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 1: 14–20.