УДК: 622.284

Ю.Н.ОГОРОДНИКОВ, В.И.ОЧКУРОВ, А.Б.МАКСИМОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

РАСЧЕТ НАГРУЗОК НА АРОЧНУЮ КРЕПЬ КМП-А3 ВЫРАБОТОК, ПРОЙДЕННЫХ ПО РУДНОМУ МАССИВУ ЯКОВЛЕВСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Представлена схема нагружения и методики расчета нагрузок на арочную крепь КМП-А3 по гипотезе сводообразования и условию подбучивания контура обнажения в рудном массиве Яковлевского железорудного месторождения. Определены нагрузки на крепь в рыхлых, средней плотности и плотных рудах.

The circuit of formation on a hypothesis of the arch and a design procedure of loading on arch support KMP-A3 are submitted. Presence of prop a contour of exposure in ore file Iakovlevsky deposit is taken into account. Loadings on support in friable, average density and dense ores are determined.

Подготовительные выработки Яковлевского рудника закреплены в основном арочной крепью из спецпрофиля СВП-22, СВП-27 с плотностью расстановки от 0,5 до 1,0 арок/м. Согласно «Временным указаниям по выбору типов и параметров крепи капитальных и подготовительных выработок Яковлевского рудника» (2006) расстояние между арками зависит от категории устойчивости рудного массива в обнажениях. Тип спецпрофиля принимается по сложившейся практике без прочностного расчета арок: для выработок сечением в свету до 14 м^2 – СВП-22, более 14 м^2 – СВП-22 или СВП-27.

В связи с изменчивостью физико-механических свойств богатых руд (мартитовых, железно-слюдково-мартитовых), которые могут быть представлены рыхлыми, хлоритизированными средней плотности и карбонатизированными плотными разностями, актуальна задача дифференциации параметров крепи применительно к конкретным условиям поддержания выработки. Основанием для выбора рациональных параметров крепи служат представленные расчеты арок по схемам нагружения, наблюдаемым в выработках рудника.

Расчет параметров крепи осложняется неопределенностью выбора схемы нагружения. Известная схема расчета нагрузок по гипотезе сводообразования, соответствующая состоянию рудного массива, предполагает образование в кровле выработки устойчивого породного свода и нагружение крепи породами в пределах свода. Высота свода и, соответственно, величина нагрузки зависит от пролета выработки, ширины призм сползания в боках и прочностных характеристик массива.

Реальная схема нагружения крепи в богатых рудах Яковлевского месторождения имеет характерные особенности. Как правило, при проходке выработок в мартитовых и железно-слюдково-мартитовых рудах буровзрывным способом наблюдаются переборы руды за проектный контур поперечного сечения. Величина линейных переборов зависит от типа руды. Приконтурный слой руды под влиянием взрыва шпуровых зарядов разуплотняется и со временем отслаивается от массива, нагружая крепь. Мощность зоны разуплотнения так-

Таблица 1

Линейные переборы и мощность разуплотненного слоя руды в закрепном пространстве

Тип руды	Плотность руды	Линейные переборы, м		Мощность зоны разуплотнения, м	
		В боках $\Delta_б$	В кровле $\Delta_к$	В боках $m_б$	В кровле $m_к$
Мартитовая и железно-слюдково-мартитовая	Рыхлая	0,4	0,6	0,6	0,6
	Хлоритизированная средней плотности	0,3	0,5	0,5	0,5
	Карбонатизированная плотная	0,2	0,4	0,4	0,4

же зависит от типа руды. Отслоение руды за пределами зоны разуплотнения продолжается несколько месяцев и постепенно затухает, по мере подбучивания контура обнажения разрушенной рудой и приближения очертания кровли к форме устойчивого свода естественного равновесия.

По данным натурной съемки поперечных сечений выработок и зондирования закрепного пространства* величина переборов в рыхлых рудах колеблется в боках от 0,2 до 0,6 м, в кровле от 0,4 до 0,8 м; мощность зоны разуплотнения от 0,4 до 0,8. В табл.1 показаны принятые в расчетах значения линейных переборов Δ и мощности созданной энергией взрыва зоны разуплотнения в боках и кровле.

По результатам зондирования закрепного пространства через 3-6 месяцев после установки арок отношение высоты рудного конура в центре свода к ширине выработки на уровне пяты свода арки в среднем составляет в рыхлых рудах 0,42 с распределением значений в разных сечениях от 0,38 до 0,46.

Схема нагружения арок принята с учетом характера деформирования рудного массива в выработках, закрепленных КМП-А3 с металлической решетчатой затяжкой и забутовкой пустот (рис.1). На рис.1 B_1 и $h_с$ – известные геометрические параметры крепи; m_1 – толщина слоя руды, отслоившегося за период эксплуатации выработки. Ширина основания свода естественного равновесия

$$B = B_1 + 2(\Delta_б + m_б)\,.$$

Высота свода естественного равновесия от пяты свода и от крепи в замке

$$H = 0{,}42B; \quad h = H - h_с\,. \qquad (1)$$

Процесс развития зоны нарушенной руды в кровле и величина вертикальной нагрузки на арочную крепь зависят от величины переборов за проектное сечение выработки и плотности заполнения закрепного пространства. В зависимости от качества забутовки возможны две схемы нагружения крепи:

1. Закрепное пространство плотно заполнено забутовочным материалом. Величина нагрузки определяется весом руды в пределах свода естественного равновесия и слоя забутовки:

$$q = \gamma(h - \Delta_к) + \gamma_2\Delta_к\,, \qquad (2)$$

где γ, γ_2 – объемный вес руды в плотном теле ($\gamma_1 = 33{,}5$ кН/м^3) и забутовочного материала из отходов дерева ($\gamma_2 = 5$ кН/м^3).

Результаты расчета давления рыхлых руд на крепь КМП-А3 в выработках сечением вчерне 29,3; 20,3 и 11,5 м^2 при линейных переборах в боках $\Delta_б = 0{,}4$ м, в кровле $\Delta_к = 0{,}6$ м (табл.2).

* *Пахалуев В.Ф.* Деформации рудного обнажения за крепью КМП-А3 / В.Ф.Пахалуев, Ю.Н.Огородников, Д.Б.Зыков, А.Б.Максимов // Записки Горного института. 2006. Т.168; *Матвеев А.В.* Влияние технологии проведения подготовительных выработок на устойчивость вмещающего рудного массива / А.В.Матвеев, В.И.Очкуров // Там же.

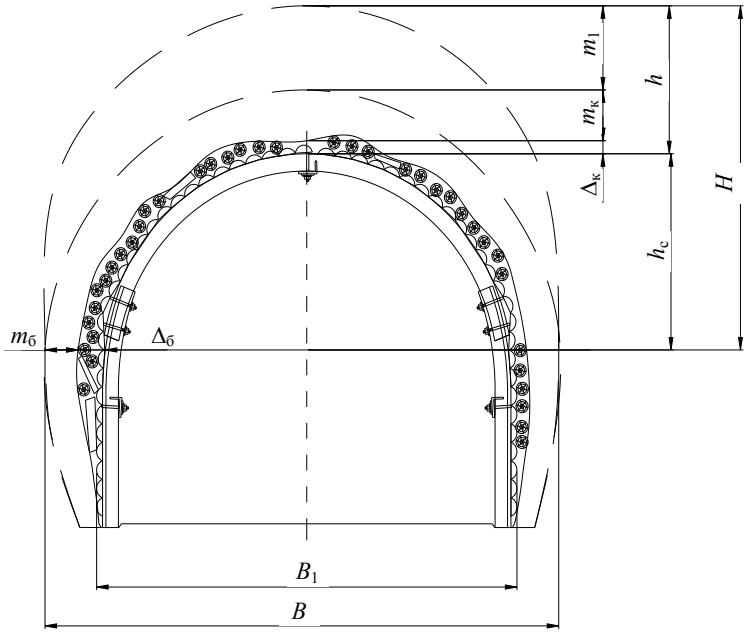


Рис.1. Схема нагружения крепи КМП-А3 рудой, отслоившейся от массива

Таблица 2

Давление рыхлых руд на крепь КМП-А3

Параметр	Площадь поперечного сечения вчерне, м^2		
	29,3	20,3	11,5
Ширина выработки B_1, м	5,75	4,9	3,55
Высота свода крепи $h_с$, м	1,92	1,63	1,18
Линейные переборы в боках $\Delta_б$, кровле $\Delta_к$, м	0,4; 0,6	0,4; 0,6	0,4; 0,6
Ширина свода обрушения B, м	7,75	6,9	5,55
Высота свода $H = 0{,}42B$, м	3,26	2,9	2,33
Мощность нарушенной зоны $h = H - h_с$, м	1,34	1,27	1,15
Нагрузка $q = \gamma(h - \Delta_к) + \gamma_2\Delta_к$, кН/м^2	27,8	25,4	23,1

В рудах средней плотности и карбонатизированных плотных отношение высоты свода к его ширине составляет $0{,}38B$ и $0{,}35B$. За счет меньших переборов руды в боках и мощности зоны разуплотнения нагрузка меньше (рис.2).

2. Вторая схема нагружения крепи реализуется при неплотном заполнении закрепного пространства забутовочным материалом. Этот случай на практике является основным. В боках забутовка выполняется удовлетворительно, в кровле систематически остаются пустоты, которые являются провокаторами отслоения руды с контура обнажения. Чем больше объем пустот за крепью, тем интенсивнее процесс развития зоны разрушения и отслоения руд, который заканчивается через несколько месяцев, когда разрыхлившаяся при отслоении руда заполнит пустоту и подбутит контур обнажения. Эффект заполнения закрепного пространства разрушенной рудой зависит от объема пустот, оставленных при установке крепи без забутовки, и коэффициента разрыхления руды $k_р$.

Богатые руды Яковлевского месторождения отличаются высокой пористостью, при

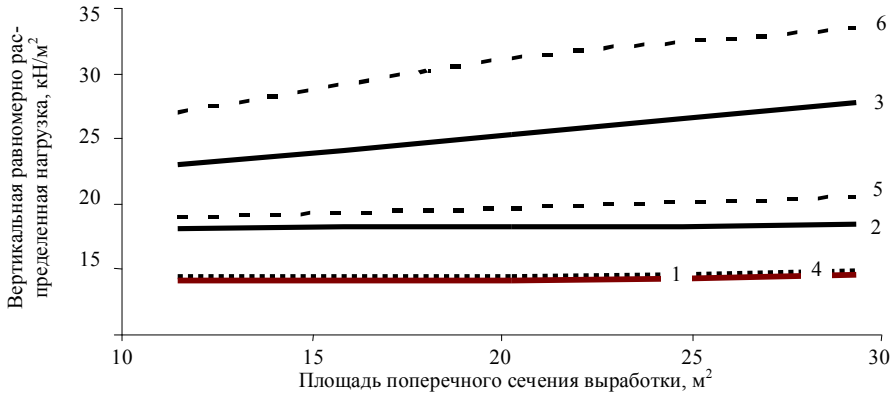


Рис.2. Вертикальная нагрузка со стороны кровли на арочную крепь в мартитовых плотных (1, 4), средней плотности (2, 5) и рыхлых (3, 6) рудах при плотной забутовке закрепного пространства и переборах в боках выработки

1; 2; 3 – 0,4 м; 4; 5; 6 – 0,6 м

разрушении превращаются в сыпучую массу, способную уплотняться и частично восстанавливать внутренние связи. Предполагалось, что коэффициент разрыхления БЖР невелик, но полученными экспериментально значениями $k_р$ это предположение не подтвердилось. А.Б.Максимов и Д.Н.Петров определили $k_р$ на десяти образцах массой от 2,1 до 5,3 кг. Получены средние значения $k_р$: без учета уплотнения – 1,425; после недельного уплотнения под собственным весом – 1,33 кН; при увлажнении проб – 1,06. Коэффициент уплотнения составил 0,89, объемная масса разрушенной руды до уплотнения 23,5 кН/м^3, после уплотнения 26,4 кН/м^3. С учетом длительности периода поддержания выработки и уплотнения руды в кровле далее в расчетах приняты $\gamma_р = 26{,}8\text{-}27{,}9$ кН/м^3, $k_р = 1{,}25\text{-}1{,}2$.

По схеме нагружения условие подбучивания рудного контура отслоившейся рудой имеет вид

$$(m + m_1 + \Delta)\gamma_р = (m + m_1)\gamma ,$$

где Δ – пустота в кровле, оставленная при креплении незаполненной, м.

Мощность слоя разрушенной руды от забутовки до контура рудного массива

$$m + m_1 + \Delta = \Delta \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_р} . \qquad (3)$$

Вертикальная нагрузка на крепь

$$q = \Delta \frac{\gamma\gamma_р}{\gamma - \gamma_р} . \qquad (4)$$

При объемной массе разрушенной руды $\gamma_р = 27{,}9$ кН/м^3 ($k_р = 1{,}2$)

$$q = 6\gamma_р\Delta . \qquad (5)$$

То же при $k_р = 1{,}25$, $\gamma_р = 26{,}8$ кН/м^3

$$q = 5\gamma_р\Delta . \qquad (6)$$

Технологический параметр Δ, зависящий от качества работ по креплению выработок и являющийся показателем культуры производства работ, решающим образом влияет на величину нагрузки. Линейные переборы в кровле составляют от 0,2 до 0,8 м. Если 50 % пустот остается без забутовки ($\Delta = 0{,}1\text{-}0{,}4$ м), то нагрузки со стороны кровли могут достигать 54 кН/м^2 ($k_р = 1{,}25$) и даже 67 кН/м^2 ($k_р = 1{,}2$) (рис.3).

Минимальное значение нагрузки определяется весом руды в зоне разуплотнения:

$$q_{\min} = \gamma m . \qquad (7)$$

Максимальная мощность разрушенной руды в кровле может достигать 2,0-2,5 м. Таким образом, по условию подбучивания разрушение может захватывать область за пределами свода естественного равновесия. При этом интенсивность процесса разруше-

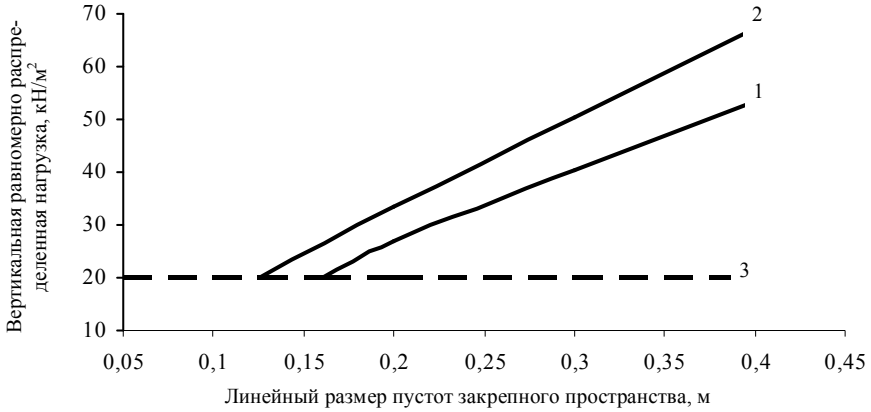


Рис.3. Зависимость вертикальной нагрузки на крепь в рыхлых рудах от пустот в закрепном пространстве при коэффициенте разрыхления руды

1 – 1,25; 2 – 1,2; 3 – $q_{min} = \gamma m$

ния снижается по мере заполнения пустот в кровле разуплотненной рудой и, соответственно, уменьшения ширины свободного от рудной массы пространства. Любое изменение НДС вмещающего массива под влиянием рассечки сопряжения, проходки параллельной выработки, опорного давления при очистных работах способно активизировать процесс разрушения руды в кровле с увеличением вертикальной нагрузки до максимального расчетного значения.

Из схем нагружения арочной крепи следует:

1. В рыхлых рудах на призабойном участке крепь нагружается весом руды в пределах зоны разуплотнения, мощность которой в кровле составляет 0,6-0,8 м. При длительном сроке службы следует учитывать развитие зоны разрушенной руды, которая при качественном креплении ограничена сводом естественного равновесия, а при оставлении в закрепном пространстве пустот превышает его границы. Величина вертикальной нагрузки зависит от переборов руды за проектный контур поперечного сечения и качества забутовки пустот.

2. В расчетах несущей способности и плотности расстановки арок следует принимать следующие значения расчетных вертикальных нагрузок:

- в рыхлых рудах, при условии плотной забутовки закрепного пространства – 25-27 кН/м^2; при оставлении пустот по 0,2-0,3 м – от 27 до 40 кН/м^2;
- в хлоритизированных мартитовых рудах средней плотности – 18-20 кН/м^2;
- в карбонатизированных мартитовых и железно-слюдково-мартитовых плотных рудах – 15 кН/м^2.

3. Боковую расчетную нагрузку на арки следует принимать с учетом коэффициента бокового распора в долях от вертикальной нагрузки: в рыхлых рудах – 0,2q; в рудах средней плотности – 0,18q; в плотных карбонатизированных – 0,16q.

Для оценки эффективности конструкций крепи КМП-А3, заложенных в рабочий проект института СУБР-ПРОЕКТ «Опытно-промышленные испытания камерной системы с закладкой выработанного пространства под искусственной потолочиной в условиях Яковлевского месторождения», выполнен расчет допускаемой вертикальной нагрузки на арки из спецпрофиля СВП-22 и СВП-27 с высотой прямой части стойки h, шириной арки B, подъемом свода арки f (рис.4).

По графику на рис.4 видно, что в рыхлых рудах арочная крепь из СВП-22 с плотностью расстановки 1 рама/м устойчива при условии плотной забутовки закрепного пространства и оптимальной

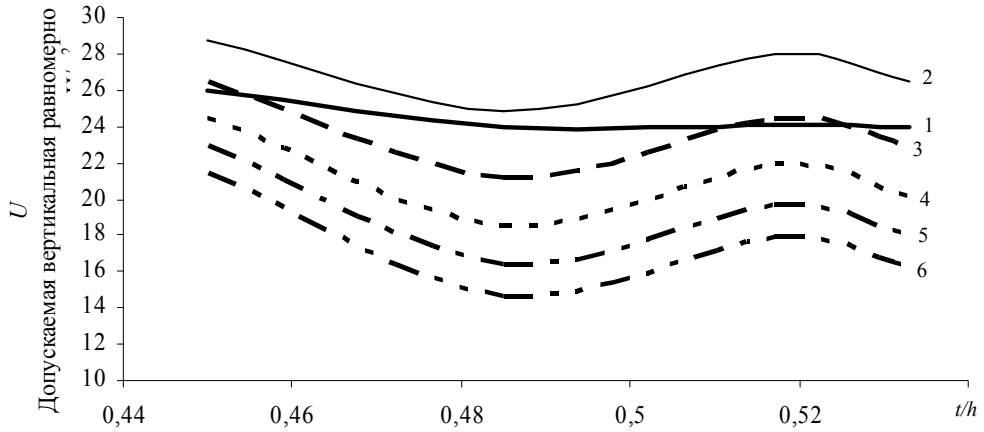


Рис.4. Зависимость вертикальной равномерно распределенной нагрузки от геометрических параметров крепи КМП-А3 из СВП-22 (проект СУБРа)

1 – 0,0; 2 – 0,1; 3 – 0,2; 4 – 0,3; 5 – 0,4; 6 – 0,5 – отношение горизонтальной нагрузки к вертикальной

форме арки с отношением f/h = 0,45-0,52 (q_{max} = 22-26 кН/м^2).

Арка из СВП-27 с подъемом свода f/h = 0,6-0,7 способна воспринимать вертикальную нагрузку 27-29 кН/м^2. Та же арка с пониженным сводом (f/h = 0,4) способна нести нагрузку только 16 кН/м^2. Допускаемая нагрузка на арку из СВП-33 при оптимальной форме свода составляет 38-40 кН/м^2. При большой высоте выработки (f/h = 0,35-0,4) несущая способность арки из СВП-33 вдвое меньше.

Приведенные примеры показывают, что расчетом арок на прочность по заданным значениям вертикальной и горизонтальной нагрузок можно определить рациональную геометрическую форму и плотность расстановки арок в рудах различной структуры с учетом качества работ по заполнению закрепного пространства.