УДК: 622.284

Ю.Н.ОГОРОДНИКОВ, *д-р техн. наук, профессор, (812) 328 86 25*
В.И.ОЧКУРОВ, *канд. техн. наук, доцент, (812) 328 86 25*
Д.Н.ПЕТРОВ, *канд. техн. наук, ассистент, (812) 328 86 25*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

Y.N.OGORODNIKOV, *Dr. in eng. sc., professor, (812) 328 86 25*
V.I.OCHKUROV, *PhD in eng. sc., associate professor, (812) 328 86 25*
D.N.PETROV, *PhD in eng. sc., assistant lecturer, (812) 328 86 25*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРЕПИ ОДНОСТОРОННЕГО ПРЯМОУГОЛЬНОГО СОПРЯЖЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Предлагается методика расчета нагрузок на арочную крепь односторонних прямоугольных сопряжений в рудном массиве Яковлевского месторождения КМА. Расчетная схема соответствует жесткопластической модели деформирования рудного массива в кровле сопряжений. Основным фактором, определяющим величину нагрузки на перекрытия сопряжений, являются пустоты в кровле после забутовки. Выявлены низкая эффективность плоских перекрытий сопряжений по камерным рамам и преимущества перекрытий сопряжений арками из спецпрофиля СВП с горизонтальными стяжками из арматурной стали. Обоснована возможность оперативного расчета нагрузок и выбора параметров перекрытий по условиям прочности и устойчивости несущих элементов крепи в рудах различных типов.

Ключевые слова: крепь, арка, сопряжение, нагрузка, перекрытие.

DESIGNING SUPPORT UNILATERAL RECTANGULAR INTERFASE OF HORIZONTAL DEVELOPMENTS

The design procedure of loadings on arch support unilateral rectangular interfaces in an ore file of Jakovlevsky deposit KMA is offered. The settlement scheme corresponds rigid and plastic model of deformation of an ore file in a roof of interfaces. A major factor defining size of loading on overlappings of interfaces, emptiness in a roof after filling there are. Low efficiency of flat overlappings of interfaces on chamber frames and advantages of overlappings of interfaces by arches from profile SVP with horizontal couplers from арматурной steels of armature was revealed. Possibility of operative calculation of loadings and a choice of parametres of overlappings on conditions of durability and stability of bearing elements of support in ores of various types is proved.

Key words: support, arch, interface, loading, overlapping.

В рудном массиве Яковлевского рудника буровзрывным способом проводятся десятки сопряжений горизонтальных выработок арочного сечения площадью сечения в свету 11,2-18,8 м^2, шириной 4,2-5,2 м. Рудный массив представлен железнослюдковой мартитовой рудой рыхлой, средней плотности и плотной, гидрогематитовой карбонатизированной рудой со средним пределом прочности на сжатие 8,7-34 МПа. На сопряжениях устанавливают крепь с плоским балочным перекрытием по камерным рамам или подхватным балкам. Рассечка сопряжений является сложным видом горнопроходческих работ. Трудности усугубляются при рассечке сопряжения в выработке,

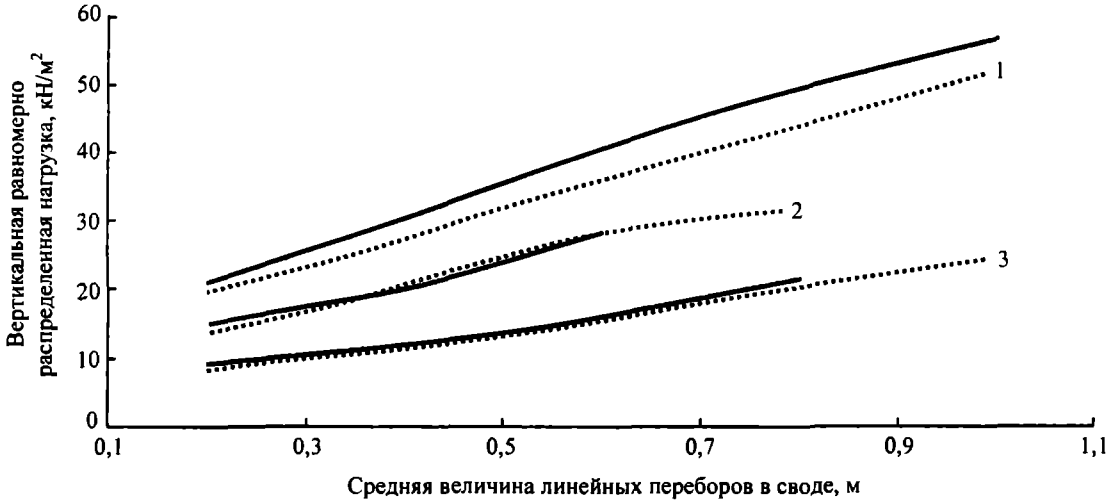


Рис.1. Вертикальная нагрузка на арочную крепь сопряжения выработок сечением в свету 11,2 м^2 (пунктирная линия) и 18,83 м^2 (сплошная линия) в рыхлой (1), плотной (2) железнослюдковой руде и гидрогематитовой руде (3) при коэффициенте заполнения закрепного пространства 0,9

которая отстаивалась длительное время, когда в окружающем массиве сформировалась потенциально опасная по вывалам зона разуплотненной руды. Все крупные вывалы на сопряжениях произошли именно в такой ситуации.

Наблюдениями за состоянием обнажений рудного массива на сопряжениях подтверждена правомерность использования жесткопластической модели деформирования рудного массива. Нагрузка на крепь создается массой разрушенной и разуплотненной руды, объем которой зависит от величины и качества забутовки закрепного пространства в кровле. Расчетная схема составлена с учетом эффекта послойного разрушения массива в кровле. По мере развития деформаций вглубь массива пролет свода обрушения уменьшается с каждым обрушением. Отслоения прекращаются после формирования равновесного состояния системы рудный массив – крепь при условии, что отпор крепи сопряжения достаточен для удержания отслоившейся от массива руды. В противном случае деформации крепи провоцируют дальнейшее развитие свода обрушения с ростом нагрузки на крепь. Характер деформационных процессов в кровле сопряжения непосредственно определяется пустотами, оставленными в закрепном пространстве после забутовки. В расчетах нагрузки учитываются геомеханические (плотность разрушенной и уплотненной руды, забутовочного материала, коэффициент разрыхления и уплотнения руды, предел прочности на сжатие, величина разрушения угловых целиков, мощность приконтурного разуплотненного слоя), геометрические (ширина, высота подъем свода) и технологические (средняя величина линейных переборов сечения за проектный контур в кровле, коэффициент заполнения закрепного пространства забутовочным материалом) параметры сопряжения выработок.

Расчеты подтверждают наличие жесткой связи нагрузки от качества оконтуривания выработок и забутовки закрепного пространства. Зависимость вертикальной нагрузки на крепь одностороннего прямоугольного сопряжения от средней по контуру величины переборов руды (0,2-1,0 м) и коэффициенте заполнения 0,9 (отношение объема забутовочного материала к среднему объему закрепного пространства в своде выработки) закрепного пространства представлена на рис.1. При больших линейных размерах переборов и наличии пустот в закрепном пространстве отпор крепи невелик или совсем отсутствует. В таких условиях прогнозировать развитие зоны активных деформаций рудного массива невозможно. Переборы руды и некачественная забутовка

закрепного пространства являются постоянно действующими негативными факторами, потенциально опасными для устойчивости сопряжения. Аномальное сочетание негативных факторов может вызвать скачок нагрузок на перекрытие и камерные рамы.

В зависимости от прогнозируемой нагрузки в рудном массиве могут применяться конструкции крепи с плоским балочным перекрытием по камерным рамам или подхватным балкам, с перекрытием из арок с горизонтальными связями (стяжками) по камерным рамам. Были выполнены расчеты ожидаемой нагрузки при возможных сочетаниях влияющих факторов для односторонних прямоугольных сопряжений, перекрытых несущими элементами арочной формы по камерным рамам в четырех типах рудного массива при шести сочетаниях сопрягающихся выработок сечением в свету 11,2; 14,9; 18,8 м^2 (всего 24 варианта). Для каждого варианта получена зависимость нагрузки от линейных переборов сечения, изменяющихся в диапазоне 0,2-1,0 м, коэффициентов заполнения закрепного пространства и сжатия свода сопряжения. Коэффициент сжатия свода рассчитывался из выражения

$$k = \frac{2f}{\sqrt{B_0^2 + B_{\text{пр}}^2}},$$

где f – подъем свода; B_0; $B_{\text{пр}}$ – ширина в свету сопрягающихся выработок.

Расчетами доказано, что коэффициент заполнения закрепного пространства в кровле сопряжения должен быть не менее 0,9 (рис.2). При меньшем значении коэффициента нагрузка значительно возрастает и превышает минимальную нагрузку (коэффициент забутовки 1,0) в рыхлой железнослюдковой мартитовой руде в 6 раз, в плотной руде в 4,2 раза, в гидрогематитовой в 2,7 раза. При коэффициенте заполнения закрепного пространства 0,9 нагрузка в массиве рыхлой железнослюдковой руде превышает нагрузку в плотной руде в 2 раза, а в гидрогематитовой руде в 3,8 раза.

Высота подъема свода сопряжения в рассматриваемом диапазоне изменения (коэффициент сжатия 0,46-0,71) при коэффициенте заполнения закрепного пространства более 0,9 практически не влияет на величину вертикальной нагрузки в массиве плотной железнослюдковой мартитовой и гидрогематитовой руд. В рыхлой железнослюдковой мартитовой руде при увеличении коэффициента сжатия свода от 0,46 до 0,60 нагрузка возрастает на 15 % и далее остается неизменной. Прогнозируемая максимальная нагрузка с увеличением высоты свода уменьшается на 8 % в рыхлой рудном массиве и на 32 % в массиве гидрогематитовой руде. Величина вертикальной нагрузки на крепь односторонних прямоугольных сопряжений превышает нагрузку на крепь одиночных сопрягающихся выработок в 2,1-2,5 раза.

В методике расчета камерных рам применен новый подход, заключающийся в использовании коэффициентов несущей способности элемента (ригеля, стойки) по прочности и устойчивости, вычисленных по эталонной нагрузке. В результате получена процедура расчета, позволяющая с минимальной трудоемкостью выбрать типоразмер проката для элементов камерной рамы по прогнозируемой нагрузке или определить диапазон нагрузок, которые способен нести элемент из предварительно выбранного типоразмера проката. Равномерно распределенная нагрузка на крепь сопряжения, соответствующая несущей способности камерной рамы, определятся из условия прочности и устойчивости ригеля и стоек из выражения

$$q = \min\left\{q_{\text{п}}^{\text{р}};\ q_{\text{у}}^{\text{р}};\ q_{\text{п}}^{\text{с}};\ q_{\text{у}}^{\text{с}}\right\},$$

где $q_{\text{п}}^{\text{р}};\ q_{\text{у}}^{\text{р}};\ q_{\text{п}}^{\text{с}};\ q_{\text{у}}^{\text{с}}$ – равномерно распределенная нагрузка на крепь сопряжения по условиям прочности и устойчивости соответственно ригеля и стойки;

$$q_{\text{п}}^{\text{р}} = \frac{2}{\ell_{\text{п}}\, k_{\text{п}}^{\text{р}}};\quad q_{\text{у}}^{\text{р}} = \frac{2}{\ell_{\text{п}}\, k_{\text{у}}^{\text{р}}};$$

$$q_{\text{п}}^{\text{с}} = \frac{2}{\ell_{\text{п}} k_{\text{п}}^{\text{с}}};\quad q_{\text{у}}^{\text{с}} = \min\left\{\frac{2}{\ell_{\text{п}} k_{\text{у}}^{\max}}\right\}$$

где $k_{\text{п}}^{\text{р}}; k_{\text{у}}^{\text{р}}$ – коэффициент использования несущей способности ригеля заданного пролета

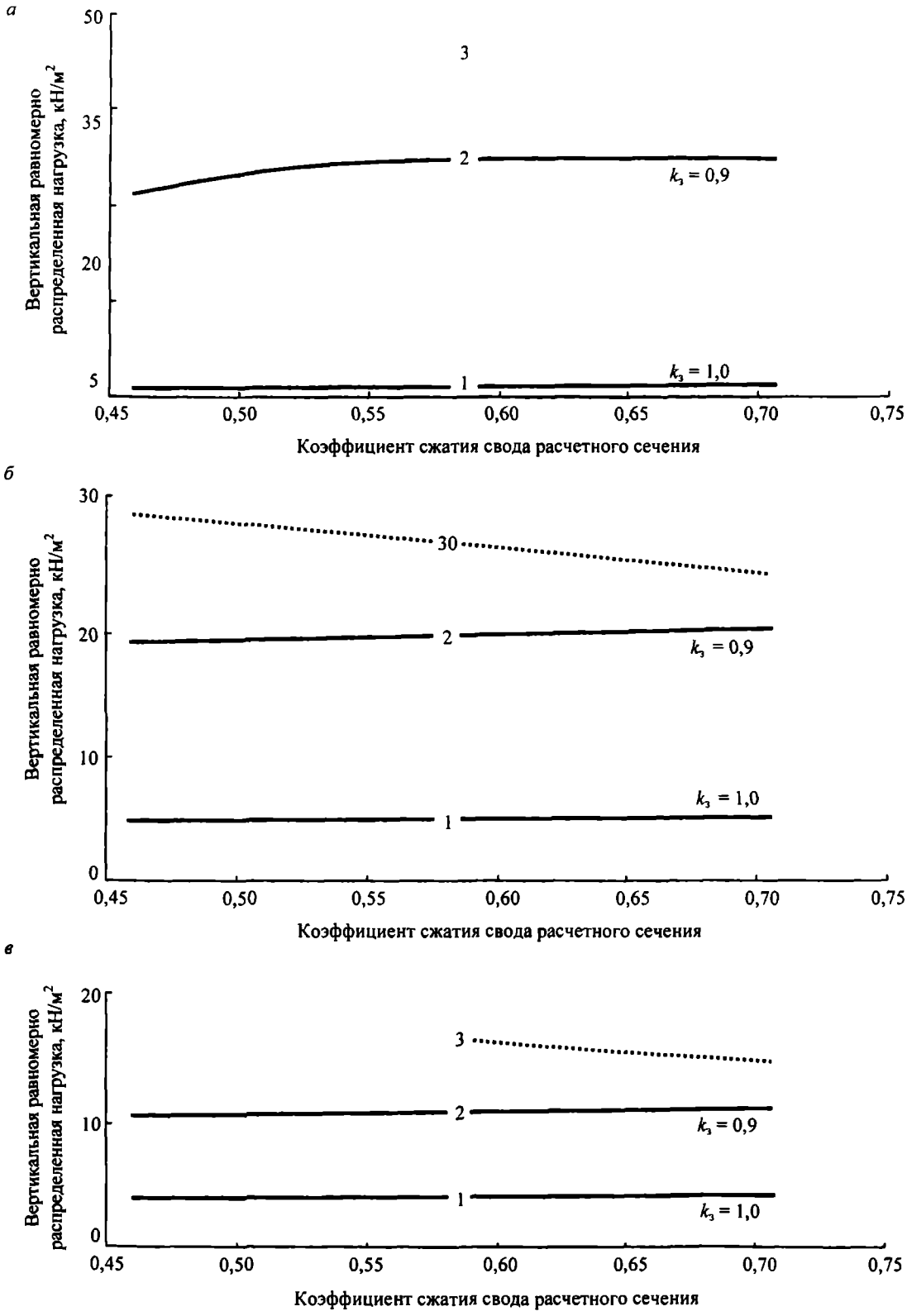


Рис.2. Вертикальная нагрузка на крепь сопряжения в рыхлой (*а*), плотной (*б*) железнослюдковой руде, гидрогематитовой руде (*в*), при среднем линейном размере закрепного пространства соответственно 0,6; 0,4; 0,3 м и его коэффициенте заполнения $k_з$:

1 – 1,0; 2 – 0,9; 3 – прогнозируемая максимальная нагрузка

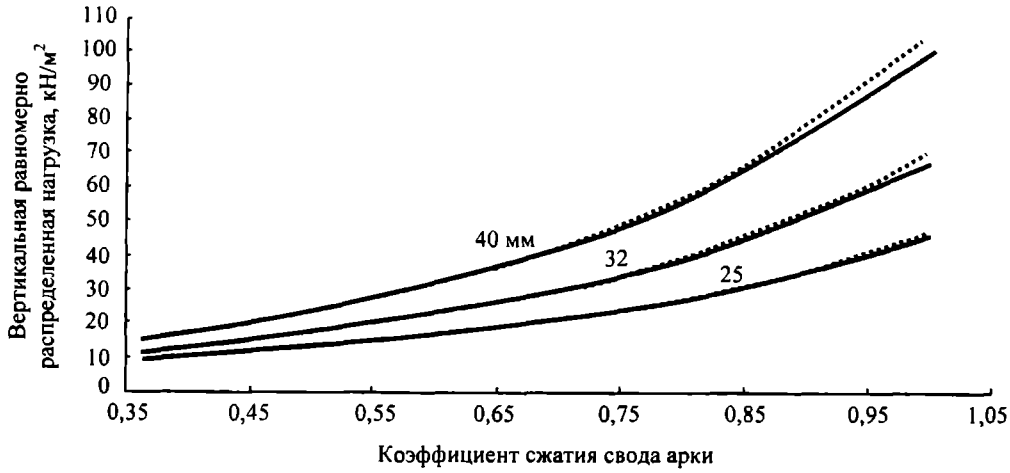


Рис.3. Несущая способность арочного свода из СВП-22 со стяжкой диаметром 25; 32; 40 мм в рыхлой железнослюдковой руде (пунктирная линия), в плотной железнослюдковой и гидрогематитовой руде (сплошная линия)

по условиям прочности и устойчивости; k_y^{max} – максимальное значение коэффициента использования несущей способности стойки по условиям устойчивости плоской формы изгиба и из плоскости изгиба при внецентренном сжатии; $k_п^c$ – коэффициент использования несущей способности стойки заданной длины по условию прочности; $\ell_п$ – пролет перекрытия.

Расчеты показывают неэффективность конструкции ригеля камерных рам из двутавра, теряющего устойчивость при нагрузках, значительно меньших предела прочности балок. Для обеспечения требуемой прочности и устойчивости следует практиковать ригель в виде коробки из двутавра, а стойки – из коробки или труб.

Подхватные балки рассчитываются на прочность и устойчивость по методике расчета ригелей камерных рам. Эффект влияния свободного опирания подхватных балок на камерные рамы рекомендуется учитывать путем подбора типоразмера подхватных балок с коэффициентом запаса на прочность и устойчивость не менее 1,2. Если подхватной балкой служит коробка из двутавровых балок, коэффициент запаса вычисляется только по прочности коробки.

Выполнены расчеты различных конструкций перекрытия сопряжений. Показано, что плоские перекрытия из двутавровых балок при пролетах более 4,0 м в рыхлой железнослюдковой мартитовой руде неэффективны, несмотря на простоту их монтажа. Плоские перекрытия из балок специального взаимозаменяемого профиля (СВП) на сопряжениях применять не рекомендуется из-за их низкой несущей способности. При пролетах 4,0-5,5 м несущая способность балки СВП-27 составляет всего 13,5-7,1 кН/м^2

Альтернативой плоскому балочному перекрытию являются арки из СВП со стяжками из арматуры класса А-III, диаметром 25-40 мм, имеющие значительный запас прочности (рис.3). Несущая способность арочного перекрытия практически не зависит от типа рудного массива и определяется диаметром стяжки и высотой подъема свода крепи сопряжения. Изменением диаметра стяжки при фиксированных геометрических размерах свода можно получить требуемое значение несущей способности и наоборот. Окончательное решение о конструкции, профиле и типоразмере балки (арки) перекрытия принимается с учетом коэффициента запаса прочности, металлоемкости перекрытия и стоимости прокатного профиля. Конструкции, не подлежащие ремонту и эксплуатируемые в сложных условиях, рекомендуется проектировать с коэффициентом запаса не менее 1,2.