УДК 622.284
В.И.ОЧКУРОВ, *канд. техн. наук, доцент, (812) 328 86 25*
Ю.Н.ОГОРОДНИКОВ, *д-р техн. наук, профессор, (812) 328 86 25*
Ю.Н.АНТОНОВ, *канд. техн. наук, ассистент, (812) 328 86 25*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

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

МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ПОДАТЛИВАЯ КРЕПЬ ВЫРАБОТОК В РУДНОМ МАССИВЕ ЯКОВЛЕВСКОГО РУДНИКА

Нагрузка на крепь определяется геомеханическими, технологическими и геометрическими параметрами. При комбайновой технологии проведения выработок нагрузка уменьшается в 1,5-1,6 раза. Сохраняется жесткая зависимость величины нагрузки от качества заполнения закрепного пространства. Несущая способность арок из СВП-27 и СВП-33 превышает несущую способность арок из СВП-22 на 33 и 76 %. Несущая способность арки с учетом пластических деформаций стали возрастает на 32-42 % по сравнению с упругим расчетом.

Ключевые слова: крепь, арка, нагрузка, несущая способность.

METAL PLIABLE SUPPORT DEVELOPMENTSIN AN ORE FILE YAKOVLEVSKY MINE

Loading on support is defined by geomechanical, technological and geometrical parametres. At комбайновой technologies of carrying out of developments loading decreases in 1,5-1,6 times. Rigid dependence of size of loading on quality of filling закрепного spaces remains. Bearing ability of arches from СВП-27 and СВП-33 exceeds bearing ability of arches from СВП-22 accordingly on 33 and 76 %. Bearing ability of an arch with the account of plastic deformations of a steel increases on 32-42 % in comparison with elastic calculation.

Key words: support, arch, loading, bearing ability.

Основной крепью горизонтальных горных выработок в рудном массиве Яковлевского месторождения КМА является крепь КМП-А3 из специального взаимозаменяемого профиля СВП. Рудный массив представлен рыхлой, средней плотности и плотной железнослюдковой мартитовой рудой с пределом прочности на сжатие 8,7-22,6 МПа и гидрогематитовой рудой со средней прочностью 34 МПа. Горизонтальные выработки сечением в свету 11,2-18,8 м^2 проводятся буровзрывным и комбайновым способами, которые обуславливают качество оконтуривания и деформирование вмещающего рудного массива. При буровзрывной технологии средняя линейная величина перебора сечения в кровле составляет 0,6-0,3 м, а при применении комбайна избирательного действия – 0,3-0,2 м.

Обоснование рациональных параметров КМП-А3 предусматривает выбор геометрических размеров арки (стрелка подъема свода и длина прямолинейного участка стоек при принятых пролетах арки), прогнозирование нагрузки на крепь, определение типоразмера СВП арок и плотности их расстановки.

Практика проведения и эксплуатации горизонтальных выработок, анализ геомеханического состояния рудного массива подтверждают обоснованность использования

жесткопластической модели деформирования рудного массива. Разрушение приконтурного разуплотненного слоя вмещающего рудного массива формирует нагрузку на крепь. Интенсивность процесса разрушения зависит от типа руды, качества оконтуривания выработки и забутовки закрепного пространства. Нагрузка на крепь возрастает по мере заполнения пустот в закрепном пространстве разрушенной и уплотненной рудой. Контур кровли в результате послойного разрушения руды приобретает форму относительно устойчивого свода. При достаточном отпоре крепи кровля выработки находится в относительно устойчивом состоянии. Равенство нагрузки и несущей способности крепи соответствует равновесному состоянию системы рудный массив – крепь с коэффициентом запаса надежности системы 1,0. Крепь с недостаточной несущей способностью деформируется, свод теряет устойчивость, нагрузка растет.

При прогнозе вертикальной равномерно распределенной нагрузки учитывались геомеханические (эффект послойного разрушения, плотности разрушенной и уплотненной руды, забутовочного материала, коэффициенты разрыхления и уплотнения руды, предел прочности на сжатие, мощность приконтурного разуплотненного слоя руды), геометрические (ширина и высота выработки, подъем свода) и технологические (способ и направление проведения, месторасположение выработки, средняя величина линейных переборов сечения, качество заполнения закрепного пространства забутовочным материалом) параметры, определяющие эксплуатационное состояние выработок.

Вертикальная равномерно распределенная нагрузка на крепь выработок, пройденных буровзрывным способом в рудном массиве, практически линейно зависит от отношения высоты свода к пролету выработки (коэффициента сжатия свода выработки) (рис.1). Коэффициент сжатия свода выработки равен $2f/B$, где f – подъем свода; B ширина выработки в проходке. При средней величине закрепного пространства 0,6 м в гидрогематитовых рудах, 0,4 и 0,6 м в плотной и рыхлой железнослюдковой мартитовой руде нагрузку можно считать постоянной вне зависимости от подъема свода и равной соответственно 4,7, 10 и 18,4 кН/м^2 Негативное влияние оказывают линейные переборы сечения выработки и качество забутовки закрепного пространства (коэффициент заполнения закрепного пространства отношение объема забутовочного материала к среднему объему закрепного пространства в своде выработки). При коэффициенте заполнения закрепного пространства 0,9 увеличение переборов сечения выработки от 0,4 до 0,6 м в плотной железнослюдковой руде вызывает повышение нагрузки на 11-41 %, а в гидрогематитовой руде при переборе сечения с 0,3 до 0,6 м – на 88 %. При составлении паспортов крепления выработок рекомендуется принимать коэффициент заполнения закрепного пространства равным 0,85-0,9.

Проведение выработок комбайном избирательного действия повышает устойчивость рудных обнажения за счет более качественного оконтуривания (линейная величина перебора сечения 0,2-0,3 м), уменьшения мощности приконтурного разуплотненного слоя руды (0,1-0,4 м), исключения динамического воздействия на вмещающий рудный массив. По сравнению с буровзрывной технологией проведения выработок в гидрогематитовой руде при коэффициенте заполнения закрепного пространства 0,9 вертикальная равномерно распределенная нагрузка уменьшается в 1,5 раза, а в рыхлой железнослюдковой мартитовой руде в 1,6 раза. Сохраняется жесткая зависимость величины нагрузки от качества заполнения закрепного пространства.

Прогнозируемая максимальная вертикальная нагрузка линейно зависит от средней величины закрепного пространства и может реализовываться при определенных минимальных величинах коэффициента заполнения закрепного пространства (рис.2).

Для обоснования рациональных параметров КМП-А3 выполнены расчеты ее несущей способности по недеформированной схеме в предположении упругих и пластических деформаций стали. Расчетная схема представлена статически неопределимой аркой

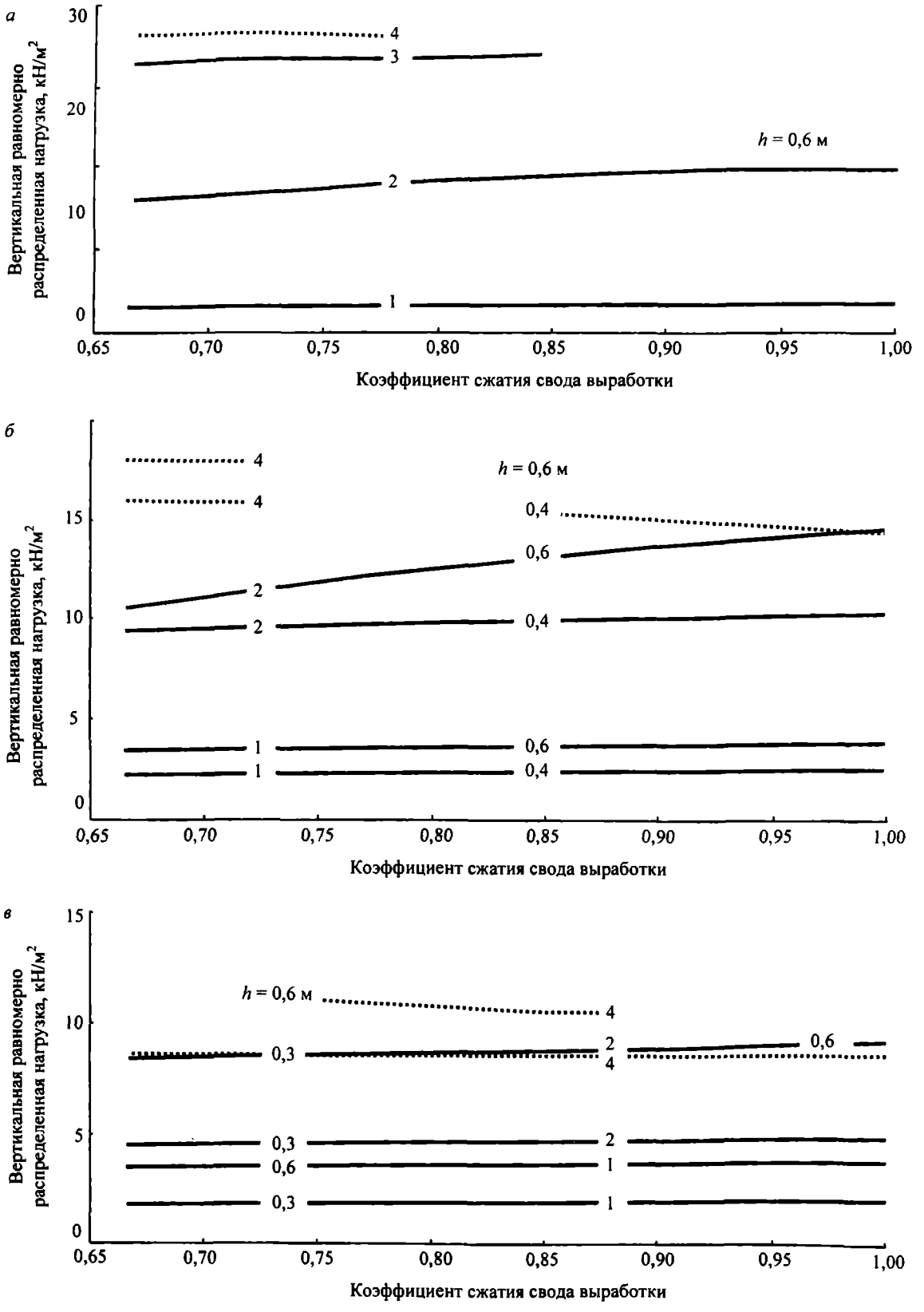


Рис.1. Вертикальная нагрузка на арочную крепь выработки в рыхлой (*а*), плотной (*б*) железнослюдковой мартитовой руде, гидрогематитовой руде (*в*), при среднем линейном размере закрепного пространства h = 0,6, 0,4, 0,3 м и его коэффициенте заполнения: 1 – 1,0; 2 – 0,9; 3 – 0,8; 4 – прогнозируемая максимальная нагрузка

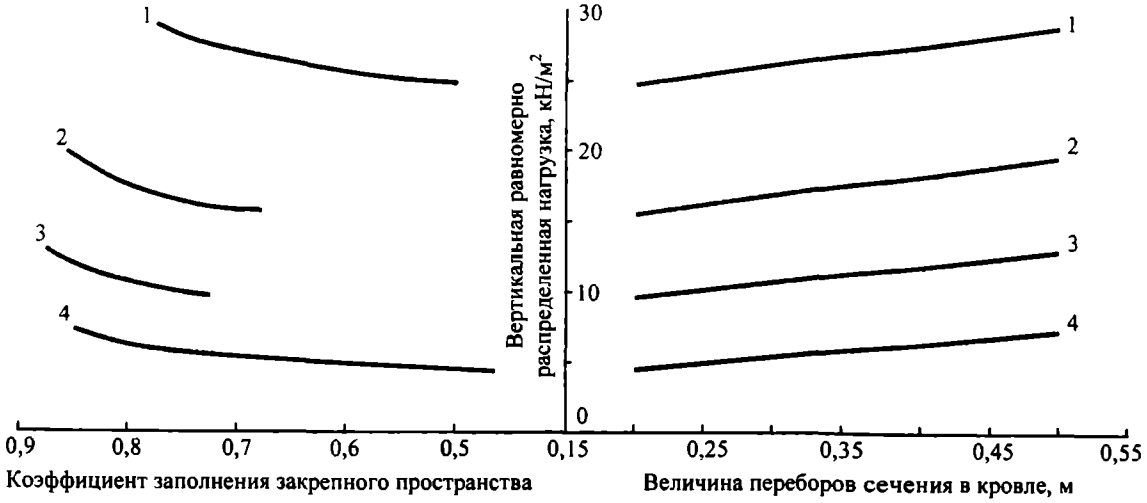


Рис.2. Прогнозируемая максимальная вертикальная нагрузка на арочную крепь выработки сечением в свету 18,8 м², пройденной комбайном в рыхлой (1), средней плотности (2), плотной (3) железнослюдковой мартитовой руде, гидрогематитовой руде (4)

на шарнирно-неподвижных опорах, на которую воздействуют вертикальная и горизонтальная равномерно распределенные нагрузки.

Геометрическое очертание арки, обеспечивающей размещение оборудования в соответствии с требованиями правил безопасности по зазорам, определяется перебором сочетаний величин стрелки подъема свода, длины прямолинейного участка стойки при принятых пролете арки, коэффициенте запаса прочности и прогнозируемых значений вертикальной равномерно распределенной нагрузки и ее соотношении с горизонтальной нагрузкой ($n = q_г / q_в$).

Расчеты показали, что опасные сечения (сечения, где нормальные напряжения достигают расчетного сопротивления 270 МПа растяжению, сжатию и изгибу по пределу текучести) приурочены к криволинейному участку стоек и вершине свода арки. При ширине выработок 4,4-5,3 м, подъеме свода 1,0-2,6 м опасные сечения на прямолинейных участках стоек длиной 1,0-2,5 м по условию прочности и устойчивости не возникают. Несущая способность арок из СВП-27 и СВП-33 определяется умножением несущей способности арок из СВП-22 на коэффициенты 1,33 и 1,76 соответственно.

Несущая способность арки с учетом проявления физической нелинейности, обуславливающей появление пластических шарниров, рассчитывалась из условия

$$\frac{M}{\sigma_т W_{пл}} + \frac{\alpha N^2}{\sigma_т^2 W_{пл}} = 1,$$

где M, N – значения изгибающего момента и продольной силы, соответствующие образованию пластического шарнира; $\sigma_т$ – предел текучести Ст.5; $W_{пл}$ – пластический момент сопротивления сечения СВП; α – коэффициент, учитывающий типоразмер спецпрофиля.

Пластические шарниры возникают симметрично на криволинейных участках стоек,

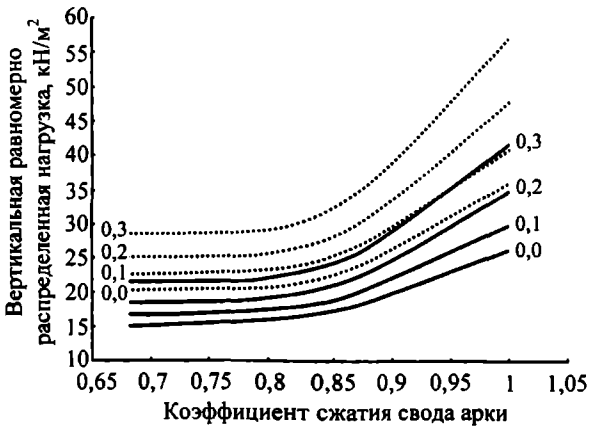


Рис.3. Несущая способность арки из СВП-22 при работе стали в упругой (сплошные линии) и пластичной (пунктирные линии) стадиях и отношении горизонтальной нагрузки к вертикальной 0,0; 0,1; 0,2; 0,3

после чего несущая способность увеличивается на 3-5 % от несущей способности арки по упругому расчету и в вершине свода образуется третий пластический шарнир. Арка превращается в геометрически изменяемую систему и перестает быть несущей конструкцией при условии расположения трех пластических шарниров на прямой линии. Предельная несущая способность арки определялась условием образования трех шарниров. В зависимости от отношения $n = q_т/q_в$ несущая способность арки с учетом пластических деформаций стали возрастает на 32-42 % по сравнению с упругим расчетом (рис.3). Несущая способность арок из СВП-27 превышает на 34 % несущую способность арки из СВП-22.

Задача оптимизации сводится к поиску параметров арки (типоразмер СВП, плотность расстановки арок, радиусы верхняка и стоек, длина прямолинейного участка стойки), при которых несущая способность арки превышает величину расчетной нагрузки и выполняется условие минимизации критерия оптимальности. В качестве критерия оптимальности можно принять стоимость или трудоемкость проведения 1 м выработки, включающей затраты на выемку породы, монтаж арки и забутовку закрепного пространства.